

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERIA GEOLOGICA, MINERA Y METALURGICA**

**PROYECTO DE TESIS PARA**  
**OPTAR EL GRADO**  
**DE**  
**INGENIERO DE MINAS**

**EL POLVO Y GASES EN EL AMBIENTE MINERO**  
**CONTROLES**

**FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS**  
**Promoción 1966**

**"Ingo. Fernando de las Casas"**

**SEPTIEMBRE - 1969**

**LIMA - PERU**

I N D I C E

	Página
PROLOGO	11
INTRODUCCION	16
<b>CAPITULO I</b>	
<b>ENFERMEDADES OCUPACIONALES</b>	
Antecedentes Históricos	19
Enfermedades Profesionales	22
Pneumoconiosis, formas	22
Qué es Silicosis	23
Grados de Silicosis	25
Diagnóstico de la Silicosis	25
Exámenes Médicos de Control	26
<b>CAPITULO II</b>	
<b>EL POLVO</b>	
Tipos de Polvo	29
Sílice Libre	29
Concentración de Sílice Libre	30
Quantificación de Sílice en el Medio Ambiente	31
Instrumentos para Determinar la Cantidad de Polvo	32
Rango Respirable de Partículas de Polvo	34
Velocidad de Asentamiento de Partículas de Sílice	35
Tiempo de Exposición al Polvo	36
Influencia de la Altura en la Exposición al Polvo	37
Fuentes de Polvo	39

CAPITULO III

G A S E S

Página

El Aire Atmosférico	42
Volumen de Aire Normal Consumido por el Hombre	42
Composición del Aire de Minas	43
Lámparas de Seguridad Aprobadas	44
Clasificación de los Gases por su Efecto en el Organismo	45
Gases de Mina	46
El Oxígeno	47
El Nitrógeno	48
Gas Metano	49
Monóxido de Carbono	50
Bióxido de Carbono	52
Acido Sulfhídrico	54
Anhidrido Sulfuroso	55
Gases Nitrosos	56
Acetileno	57
Colectores de Gases	57
Límites Permisibles de Gases en la Minería Peruana	58
Reducción de un Gas a Concentración Máxima Permisible	59

CAPITULO IV

Control de Polvo	61
Control de Gases	61

CONTROL DE POLVO CON AGUA

Barrenadura en Húmedo	63
Disparos Regulados	64

	Página
Transporte de Mineral	66
Desatado de Rocas y Minerales	66
Enmaderado	66
<b>PROTECCION DE POLVO Y GASES CON RESPIRADORES</b>	
Respiradores como medio de Protección	67
Respiradores de Polvo de Tipo Aprobado	67
Respiradores de Gases	68
Respiradores de Abastecimiento de Aire por Línea	68
Respiradores con Abastecimiento Propio de Oxígeno	69
Respiradores con Filtro Mecánico o Químico	71
Aparatos de Respiración más Usados	72
El Aparato McCaa	72
El Aparato Chemox Autogenerador	78
Máscara All Service modelo S	82
Máscara Self Rescuer tipo 1447	85
Observaciones para el Uso de Respiradores	87

## CAPITULO V

### CONTROL DE POLVO Y GASES CON VENTILACION

Ventilación Mecánica Controlada	90
Estimación de Uno o Más Sistemas de Ventilación	91
Aspectos Teóricos	91
Propiedades del Medio	92
Propiedades de Ventilación	92
Requerimientos de Aire para Diferentes Operaciones	94
Características de Ventiladores	96

	Página
Ventilación Auxiliar	99
Mediciones de Ventilación	103
Control de Sistemas para Mejorar el Aire Ambiental	
De Orden General	105
De Ingeniería	105
Funciones del Ingeniero de Seguridad en Minería	106
<b>CAPITULO VI</b>	
<b>APLICACION PRACTICA DE VENTILACION</b>	
Ventilación de una Galería	109
Solución al Caso Expuesto	110
Cracterísticas del Ventilador a Escogerse	115
Recomendacionew para el Caso Particular	115
<b>CAPITULO VII</b>	
Ventajas de Mejorar el Medio Ambiente	118
<b>CONCLUSIONES</b>	120
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	125

AGRADECIMIENTO

Vayan mis mejores Agradecimientos a todos los miembros de la ex-Facultad de Minería, tanto Catedráticos como empleados, que en toda mi formación profesional me brindaron sus mejores enseñanzas y colaborarán en la conclusión de mis estudios.

También mi profundo Agradecimiento al Ingeniero Amado Yataco Medina, que me orientó y aconsejó en la culminación de éste trabajo. A la vez agradezco al personal del Instituto de Salud Ocupacional por los servicios prestados para el desarrollo del presente proyecto.

Fernando Braulio Melo Salinas

DEDICATORIA

A mis queridos padres Señor Braulio Melo y, Señora Zoila Salinas de Melo, que con su constancia y esfuerzo lograron brindarme la Noble Profesión de Ingeniero de Minas.

PROLOGO

El presente trabajo, teórico- práctico de ambiente minero, lo presento a consideración de la ex-Facultad de Minería hoy Programa Académico de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica de la Universidad Nacional de Ingeniería, con el fin de poder optar el Grado de Ingeniero de Minas. El afán que me llevó a desarrollar el tema titulado "El Polvo y Gases en el Ambiente Minero - Controles", recae exclusivamente en la preocupación cada vez mayor en proporcionar a los trabajadores mineros, en general un aire sano y respirable, para un mejor desarrollo en sus actividades de producción y desarrollo, a la vez que colaborar en forma didáctica en la presentación de algunos conceptos para la solución de problemas inherentes a la ventilación, dilución y control de gases y polvos de mina.

Como sabemos el trabajo subterráneo es diferente al de otras industrias, y desgraciadamente, también el más peligroso causando por tanto un mayor número de accidentes y enfermedades ocupacionales. Por esta razón es necesario programar y desarrollar cada vez más sistemas de prevención y control de los riesgos profesionales, para un bienestar, tanto social como laboral-económico.

No está demás señalar que la Industria Minera, ocupando alrededor de 75,000 personas económicamente activas, tiene el más alto rendimiento por individuo. En 1964 el rendimiento por hombre en Minería fué de \$/ 72,600.00; en la Industria Manufacturera el rendimiento por hombre fué de \$/ 29,900.00 y en el Sec-

tor Agrario el rendimiento por hombre alcanzó la suma de soles 8,700.00. Además el trabajo Minero aporta el 46 % de divisas, del valor total de Exportación del Perú. Del total bruto de Producción Interna del País, la Minería con sólo el 2.1 % de la población activa, produce el 7.6 % del Monto Total.

Analizando al trabajador minero como elemento de producción, es uno de los que más aporta, pero uno de los más descuidados en cuanto a programas de Seguridad e Higiene Industrial, lo que se refleja en estadísticas de accidentes y enfermedades ocupacionales, siendo el que tiene los más altos índices en estos aspectos. En el año 1965 un gran número de Empresas Mineras carecían de Programas de Seguridad e Higiene Industrial, el siguiente cuadro resume lo expresado:

Programa de Seguridad e Higiene Industrial	Empresas Mineras	Centros de Trabajo	Población Obrera
Con Programa	11 (15.9%)	21 (23.3%)	25,733 (60.7%)
Sin Programa	58 (84.1%)	69 (76.7%)	16,674 (39.3%)
TOTAL	69	90	42,407

De esto se deduce que el 84.1 % de Empresas no cuentan con Programas de Seguridad e Higiene Industrial, lo que demuestra que es un gran número de Empresas que no dá la debida importancia al problema de la Silicosis y demás enfermedades ocupacionales, siendo la silicosis una de las enfermedades ocupacionales de mayor frecuencia en nuestro País. Es claro que las pérdidas por producción se dejan sentir, dado que el personal remplazado no es lo suficiente hábil por falta de experiencia y entrenamiento; por escasez de mano de obra o por la desmoraliza-

ción que produce la incidencia de silicosis en el personal.

El tema realizado en este trabajo lo he compartido en siete Capítulos, con el fin de hacer más definidas sus partes. Iniciando con un Prólogo e Introducción.

El primer Capítulo se refiere a enfermedades profesionales, antecedentes históricos, pneumoconiosis, sus formas, qué es silicosis, diagnóstico de silicosis, para terminar con exámenes médicos pre-ocupacionales y periódicos en el trabajo.

El Capítulo segundo comprende lo relacionado al Polvo: tipos de polvo, sílice libre, concentración de sílice, cuantificación e instrumentos para determinar la cantidad de sílice en el polvo, velocidad de asentamiento de partículas de sílice, tiempo de exposición al polvo, influencia de la altura en la exposición terminando con fuentes de polvo.

El Capítulo tercero hace una descripción de gases, el aire atmosférico, volumen de aire normal consumido por el hombre, composición del aire de minas, lámparas de seguridad, clasificación de los gases por su efecto en el organismo, gases de mina, oxígeno, nitrógeno, metano, monóxido de carbono, bióxido de carbono, ácido sulfhídrico, anhídrido sulfuroso, gases nitrosos, acetileno, colectores de gases, límites permisibles de gases en la Minería Peruana y reducción de un gas a concentración máxima permisible.

El Capítulo cuarto, comprende los controles de polvo por agua en: barrenadura, disparos, transporte, desatado de rocas y enmaderado, protección del polvo con respiradores aprobados, protección de gases con respiradores de abastecimien-

to de aire por línea, de abastecimiento propio de oxígeno, concluyendo con los respiradores de abastecimiento de aire exterior con filtro mecánico o químico para retener gases. Descripción de las máscaras McCaa, Chemox, All Service Modelo S y Self Rescuer tipo 1447.

El Capítulo quinto describe uno de los métodos más completos de control de gases y polvo en minería, que es la Ventilación Mecánica, para lo cual se muestra aspectos teóricos de ventilación, propiedades del medio a ventilarse, propiedades de ventilación, requerimiento de aire para diferentes operaciones, características de ventiladores, ventilación auxiliar, mediciones de ventilación, control de sistemas de aire ambiental, tanto de orden general como de Ingeniería, terminando con las funciones del Ingeniero de Seguridad en Minería.

El Capítulo sexto, comprende la aplicación práctica de ventilación, en una galería de cortada en la que hay emanaciones naturales de gas carbónico, solución al caso expuesto y recomendaciones para el caso particular.

El Capítulo séptimo, trata de las ventajas de mejorar el medio ambiente, Conclusiones a todo lo expuesto. Para completar lo expresado se incluye algunos esquemas y cuadros para el mejor empleo en la solución de problemas de ventilación.

Fernando Braulio Melo Salinas



## INTRODUCCION

Es necesario hacer notar que el trabajo del presente estudio, está directamente relacionado con la producción de minerales; se refiere a un servicio imprescindible, que necesita ser tomado en cuenta por las organizaciones directivas de las Empresas Mineras, dado que algunas no han valorado su importancia.

El personal al estar expuesto al Polvo o Gas ambiental va contrayendo una enfermedad profesional, que con el transcurso del tiempo se le fija más intensamente hasta incapacitarlo parcial o totalmente. En este caso el hombre tendrá que ser retirado del riesgo ambiental donde trabaja o compensarlo si existe incapacidad. Lo que significa un impacto económico negativo que repercute directamente sobre los costos de Producción, además que crea una serie de problemas que van desde lo físico hacia lo afectivo, hombres que deben ser remplazados continuamente con otros sin el entrenamiento adecuado, personal con la moral disminuída por el notorio riesgo que existe para su salud.

Además del efecto negativo en la población de un País,, con personas que pasan a ser dependientes a edades prematuras, en el Perú se considera, que por la silicosis un gran número de trabajadores mineros, a los 37.5 años, pasan a la condición de ya no poder desarrollar trabajo físico, estos datos calculados por el Instituto de Salud Ocupacional, demuestra además el impacto en el desarrollo económico de la Sociedad Peruana.

Para terminar quiero invocar a las Empresas Mineras, la necesidad de prestar la debida atención a este proble

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA -17  
ma, poniendo en marcha o continuando con las medidas preventivas  
para eliminar o por lo menos reducir más el riesgo a la silico-  
sis y demás enfermedades ocupacionales, en sus respectivos cen-  
tros de trabajo.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA

**CAPITULO I**  
**ENFERMEDADES PROFESIONALES**

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

**ANTECEDENTES HISTORICOS.**- La pneumoconiosis es la más antigua de las enfermedades profesionales de la Historia de la Humanidad. Desde la pre-historia el hombre a hecho minería con el fin de obtener metales para sus implementos caseros o sus armas. Se inicia la minería subterránea por el afán de conseguir mejores yacimientos, ya que por ejemplo el pedernal era de mejor calidad al ser extraído de la cantera menos erosionada. Además el agotamiento de reservas en la superficie obliga a los mineros a penetrar en el subsuelo y pronto se perfecciona la técnica de cavar piques poco profundos y abrir socavones. Las herramientas que se usaban eran rústicas hechas de pedernal y cuernos de animales, las labores posiblemente eran alumbradas con antorchas o lámparas de sebo o pesinas. Este trabajo produjo enfermedades profesionales entre los mineros neolíticos y se han encontrado evidencias de pneumoconiosis en los pulmones de momias egipcias.

La gran parte de los trabajadores eran reclutados de los esclavos y prisioneros de guerra; además de animales, por esta razón no se tomaba en cuenta el bienestar de estas personas. Las condiciones de trabajo eran terribles y muy pocos sobrevivían al peligro mortal de accidentes y enfermedades.

Prácticamente no existía ventilación y la atmósfera se hacía irrespirable por la transpiración de los cuerpos, la insuficiencia de oxígeno y el humo proveniente de las lámparas y antorchas. El historiador Plinio menciona que la mayoría de los mineros, durante mucho tiempo no veía la luz del

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA -20  
día, hasta por espacio de muchos meses.

Fueron los Romanos los primeros en utilizar resultados de experiencia para determinar los riesgos de una ventilación insuficiente, se aconsejó a los mineros que para proteger se del anhídrido carbónico "bajaran una lámpara encendida y si ésta seguía ardiendo, podrían descender al pique sin peligro", también se utilizó perros para localizar gases nocivos, lo cual es un anticipo a los métodos modernos de uso de canarios y ratas con este mismo propósito.

También los Romanos fueron los primeros en re-glamentar la seguridad y el uso de aparatos para disminuir el riesgo de accidentes y salud en las minas. Se imponía castigos al que dañara los soportes de los socavones y para evitar la in-halación de polvo se exigía el uso de respiradores primitivos hechos de vejigas de animales. Con la caída del Imperio Romano, de saparece de la historia toda referencia de la industria minera y no es sino hasta varios siglos después que el tema vuelve a ser mencionado.

El primer intento racional de los tiempos moder-nos para estudiar las enfermedades de los mineros la hizo Agrí-cola un médico alemán quien relató sus experiencias en un libro titulado "De Re Metallica" en 1556. Uno de sus capítulos de éste tratado nos proporciona una relación de las enfermedades y accidentes que eran comunes entre los mineros de ese tiempo como además los métodos para protegerse contra estos riesgos.

Al realizar faenas mineras más profundas, hacía necesario el uso de sistemas más eficaces para solucionar proble  
TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

mas de drenaje, ventilación y recuperación de mineral. Se desarrollaron varios tipos de máquinas de ventilación para forzar aire a través de piques y túneles largos, las que consistían en grandes fuelles o barriles cilíndricos, premunidos de aspas rotatorias en su interior.

Con respecto a las dolencias y accidentes que sufrían los mineros, Agrícola aconsejó que estos deben evitarse, pues debemos dedicar más cuidado a conservar la salud de los trabajadores que a la obtención de utilidades. Expresó que el polvo producido por la roca dura de las minas causaba enfermedades pulmonares en los mineros y recomendó a estos a usar velos sobre la cara. El nombre de Agrícola pertenece a la posteridad como el hombre que concibió los primeros reglamentos respecto a la forma como puede prevenirse la silicosis.

El Italiano Rammazzini, fué el primero en reconocer en el año 1700, el significado social de las enfermedades industriales, derivadas de las sustancias químicas, mencionó los efectos dañinos del polvo en los órganos respiratorios y la necesidad de proteger a los trabajadores contra el peligro; Rammazzini describió, basado en sus experiencias, muchas ocupaciones con sus riesgos inherentes, hizo incapie en la necesidad de indagar en la historia ocupacional del paciente, este concepto es válido aún en nuestros días, ya que precisamos la historia ocupacional de los hombres que trabajan en faenas con riesgo de enfermedad profesional. Sin embargo muchas de las medidas que el propugnó fueron más de caracter curativo que preventivo. Pero esto no es extraño si consideramos que éste anticuado concepto aún

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA -22  
prevalece en muchos establecimientos mineros e industriales del mundo entero. En lo expuesto anteriormente se puede ver que la silicosis no es una enfermedad nueva y tales fueron los problemas y tratamientos en siglos pasados.

**ENFERMEDADES PROFESIONALES.**- No se debe tener un lugar de trabajo sucio si resulta fácil y económicamente práctico mantenerlo limpio. De igual modo las Empresas no desean gastar grandes sumas de dinero en controlar el polvo o gases, para después darse cuenta que el problema no ha sido resuelto. Para el logro de este fin debemos estar preparados en ayudar a propietarios y gerentes de Industrias Mineras en la adopción de programas y Controles adecuados para este fin.

Los trabajadores de industrias en general están expuestos a riesgos ocupacionales en casi toda actividad de lo que se deriva una gran variedad de Enfermedades profesionales con diferentes cuadros clínicos y una diversidad de consecuencias, pero se debe agregar que no hay riesgo alguno que no pueda ser eliminado, o convenientemente controlado, con apropiadas medidas de prevención.

En el desarrollo específico de este trabajo de Mina, trato de exponer el medio ambiente en general; inhalación de polvo (sílice libre) y gases. Todo desde el aspecto necesario para el Ingeniero, aunque se exponen conclusiones médicas para un mejor fin del trabajo.

**PNEUMOCONIOSIS, FORMAS.**- Según la variedad de polvo inhalado se diferencian:

- La Silicosis.- Forma más distribuída y muy peligrosa de pneumoconiosis, producida por la aspiración de sílice libre.
- La Silicatosis.- Se provoca por la aspiración de polvo de silicatos (asbesto etc.)
- La Antracosis.- Se debe a la aspiración de polvo de carbón antrasita y de algunos carbones blandos, se observa en personas con más de 10 años de trabajo en hulleras, pero también conduce a la incapacidad y reduce la resistencia del organismo contra la tuberculosis.
- La Antraco-Silicosis.- Se produce a consecuencia de la acción mutua de polvo de carbón y sílice.
- La Sílico-Tuberculosis.- Silicosis complicada con tuberculosis.

QUE ES SILICOSIS.- Para que ejerza su acción dañina el polvo debe penetrar en las divisiones más finas del pulmón, luego las partículas en el medio ambiente, guardan una relación bien definida con los efectos producidos. Para producir silicosis, el polvo ambiental debe poseer estas cuatro características principales:

- 1.- Debe contener sílice libre
- 2.- Debe estar en el rango de tamaño de partícula respirable
- 3.- Las concentraciones deben ser superiores al máximo permisible. y.
- 4.- Debe respirarse un periodo prolongado.

La fibrosis se origina por las reacciones químicas que se producen entre el dióxido de silicio y los tejidos del organismo, que originan el ácido silíceo  $H_2SiO_2$ , que actúa químicamente sobre el tejido de los pulmones. El medio de defensa de los pulmones son los Fagocitos o células devoradoras cuyo fin es atrapar o envolver los cuerpos extraños y transportarlos por caminos linfáticos, esto se produce cuando la cantidad de polvo es inferior a la posibilidad de defensa de los Fagocitos. Con la sílice esto no sucede dado que los Fagocitos rápidamente mueren dejando las partículas libres, siendo envueltas por otros Fagocitos que también mueren. El  $SiO_2$ , sílice, es en efecto un irritante de los tejidos cualquiera sea la parte del cuerpo con la cual entran en contacto. Produce irritación local, destrucción de tejidos y remplazo de estos tejidos por fibrosis.

La sílice recién fragmentada produce más rápido silicosis que la que ha estado en contacto con los elementos del aire.

El tamaño de la partícula es muy importante en la determinación del riesgo existente, para prevenir la silicosis, las normas actuales especifican una concentración máxima de 5 millones de partículas de sílice libre por pie cúbico, inferiores a cinco micrones, para ocho horas de exposición diarias. Debido a esto los lugares de trabajo, sean superficiales o subterráneos se deben mantener bajo estos límites por medio de operaciones auxiliares.

**GRADOS DE SILICOSIS.**- La enfermedad se desarrolla progresivamente en tres grados. Los Indiciós del Primer grado son: malestar general, ahogo en el trabajo y leve tos seca.

El Segundo grado se caracteriza por frecuentes dolores de espalda, respiración notoriamente disminuída, tos seca o húmeda y visible disminución de la capacidad de trabajo.

En el Tercer grado aparece ahogo hasta en estado de tranquilidad, tos con esputos, dolores en el tórax y pérdida total de la capacidad de trabajo.

La silicosis puede acompañarse por diversas complicaciones, la más seria es la tuberculosis, causa de la muerte por silicosis en la mayoría de los casos.

**DIAGNOSTICO DE LA SILICOSIS.**- El correcto diagnóstico de la silicosis solo puede ser dada por el médico, haciendo uso de la Roentgenografía y se acepta generalmente que la radiografía en si no es base suficiente para hacer un diagnóstico. Son indispensables además las informaciones acumuladas por el ingeniero o el encargado de control de ambientes de mina, respecto al tiempo de exposición al polvo, historia ocupacional, la efectividad comprobada de riesgo de silicosis en el ambiente, y los antecedentes clínicos del individuo.

Cabe señalar que un diagnóstico por la observación de Radiografía, en la que se nota la trama fibrosa puede ser también debida a otros factores, como ser vapores ferrosos fumar en exceso y otras enfermedades orgánicas y puede ser que un diagnóstico de silicosis, que produce incapacidad, podría deberse

a las causas anotadas, lo que daría una impresión falsa de incapacidad, ya que no producen este estado.

La silicosis debe ser diagnosticada con una observación clínica total, no solamente como dijimos con el análisis de radiografías sino, además con análisis de laboratorio: de vsangre, de orina, etc. dado que es común confundirla con algunas manifestaciones de enfermedades pulmonares como son: Histoplasmosis, resagos de una tuberculosis curada, Coccidiomicosis, Blastomicosis, Moniliosis, Esporotricosis, y la Actinomicosis pulmonar; como también las otras formas de pneumoconiosis que son curables, y que radiográficamente presentan el mismo cuadro clínico.

Una vez que la silicosis ha sido debidamente diagnosticada, se presenta el problema de evaluar la incapacidad pulmonar. El pago indiscriminado a hombres relativamente sanos puede tener graves repercusiones en la Industria, como también en la economía de un País. Cuando existen discrepancias en cuanto al diagnóstico, la entidad oficial para emitir un diagnóstico dirimente es el Instituto de Salud Ocupacional.

**EXAMENES MEDICOS DE CONTROL.**- Los efectos de la exposición a atmósferas polvorientas pueden ser muy pronunciados en ciertas personas, mientras que otras no presentarán señales de ninguna especie incluso después de largos periodos a tal exposición.

Toda persona que debe trabajar en condiciones posiblemente peligrosas por el polvo, deberá pasar un

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1968

examen médico general antes de entrar en tal ocupación y después de ello, deberán pasarlo cuando menos una vez al año. En cuanto sea posible, las personas que se descubra que han contraído síntomas de algún trastorno respiratorio deberán ser retiradas de las atmósferas polvorientas para impedir la agravación de su estado.

No hay razón válida para rechazar a un solicitante que ya padece de silicosis, si el riesgo que la sílice representa en un lugar está ya dominado y si el estado físico del trabajador queda sujeto a la debida supervisión de ese momento en adelante. Esta es una condición importante en los lugares en que la Industria predominante en la localidad y en los que otras oportunidades de trabajo son limitadas, lo cual tiene una grave repercusión en el desembolvimiento racional de la economía de cada lugar.

Además un control bien organizado para la admisión de personal, en un centro minero, y sus correspondientes exámenes médicos anuales de preferencia con anterioridad a cada lapso vacacional anual, haría mantener un cuadro bien desarrollado y preciso de la efectividad de los programas de control de polvos y a la vez de observar que el personal que tuvo signos de silicosis en su inicio de labores, no haya tenido complicaciones ni agravado su mal.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA.

CAPITULO II  
EL POLVO

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

**TIPOS DE POLVO.**- El polvo de mina es el conjunto de finas y finísimas partículas minerales suspendidas en el aire de la atmósfera de las minas o asentadas sobre las paredes, el piso y el techo de las labores mineras.

El aire con polvo forma un sistema denominado "aerosol" de polvo. El polvo asentado constituye el "aerogel" de polvo.

Se distinguen los siguientes tipos de polvo:

- 1.- Polvo mineral no tóxico
- 2.- Polvo mineral tóxico, como mineral de mercurio, plomo, cobre, arsénico, etc.
- 3.- Polvo de carbón.
- 4.- Polvos irritantes como los de cal.
- 5.- Polvos carcinógenos como los radioactivos.

El polvo mineral no tóxico, contenido en el aire en importante cantidad, es nocivo ya que irrita las vías respiratorias y los ojos, ataca los pulmones y perturba las funciones del organismo humano en conjunto, provocando la enfermedad denominada Pneumoconiosis.

**SILICE LIBRE.**-  $SiO_2$ , sílice, se presenta de tres formas en la naturaleza: Cristalizada, Criptocristalina y amorfa.

**Cristalizada:** Cuarzo, Tridimita y Cristobalita.

**Criptocristalina:** Calcedonia, Agata, Jaspe, Pedernal, Crisopasa, ónix y shert.

**Amorfas:** Opalo, Hialita, Geiserita, Trípoli, y tierra de Diatomas.

De todas estas formas el más común es el cuarzo, que constituye el 12 % de la corteza terrestre, se presenta en todo tipo de rocas ya sea como principal o secundario. El cuarzo tiene como peso específico 2.66, dureza 7 en la escala de Mohs y cristaliza en el sistema hexagonal romboédrico, sus índices de refracción son: 1.544 y 1.533. Se confunde con los siguientes minerales: Cordierita, Nefelina, Berilo, Topacio, Pólux y a veces con la Calcita.

Las variedades de Cuarzo son: Cristal de roca, Cuarzo amatista, rosado, azul, ctrino, ahumado, lechoso y ferruginoso.

**CONCENTRACION DE SILICE LIBRE.**- El polvo en general está en todo medio ambiente, pero hay ciertas concentraciones máximas, bajo las cuales no es perjudicial, pero al sobrepasar este límite y en un periodo prolongado, ha producido fibrosis pulmonar; la inhalación de sílice libre produce la silicosis caracterizada por la fibrosis pulmonar.

Se acordó en la Conferencia Americana de Higienistas Industriales en 1961, que las concentraciones máximas permisibles a las que puede trabajar un obrero, sin sufrir daño alguno en su salud son:

Polvo que contiene más de 50% de sílice libre 5 m.p.p.p.c.a.

" " " de 5 a 50% " " " 20 " "

" " " menos de 5% " " " 50 " "

m.p.p.p.c.a. = millones de partículas por pie cúbico de aire.

Todas las partículas deben estar en el rango respirable, es decir todas ellas menores de diez micras.

Además se acordó, adoptar la siguiente ecuación para determinar la Concentración Máxima Permisible (CMP) de polvos que contienen sílice libre cristalizada:

$$C M P = \frac{250}{\% SiO_2 + 5}$$

En caso de ser sílice en estado amorfo, se ha establecido que su concentración máxima permisible sea de 20 m. p.p.p.c.a. Con fines prácticas, el departamento de trabajo de los Estados Unidos, ha establecido un patrón de comparación, que se obtiene del producto del porcentaje de sílice libre por la concentración de partículas, si el resultado está por debajo de 5 millones, la condición se considera permisible. Por encima de este valor siempre es peligrosa. Este patrón solo se usa en contenidos de sílice libre sobre el 5 por ciento.

**CUANTIFICACION DE SILICE EN EL MEDIO AMBIENTE.**- El analisis del polvo ambiental es de vital importancia, porque indica la proporción de constituyentes dañinos y establece una base precisa para la evaluación del riesgo existente.

La cuantificación de sílice en el aire se realiza por tres métodos:

- 1.- Analisis químico
- 2.- Método petrográfico
- 3.- Por difracción de rayos equis

De los tres métodos indicados, la difracción por rayos equis, es el procedimiento considerado más exacto para determinaciones de sílice libre en el polvo ambiental.

Las muestras de aire se deben captar con una aspiradora para llenarlas en bolsas de papel metalúrgico capaces de retener las partículas de tamaño inferior a un micrón, estas muestras se pueden enviar a la "Industrial Hygiene Foundation" de los Estados Unidos o/y "U.S. Public Health Service", lo necesario es saber que porcentaje de las partículas es menor a 10 micrones y de esto por medio de rayos equis se determina la porción de sílice libre.

No se debe tomar como índice, el análisis de  $\text{SiO}_2$  en el material in situ, dado que es evidente que si un mineral acusa presencia de sílice libre, sus productos deben contenerlo también, pero no en la misma proporción dado que unos componentes del mineral se desintegran más rápidamente que otros produciéndose una variación de la distribución porcentual de sus componentes en el polvo ambiental.

**INSTRUMENTOS PARA DETERMINAR LA CANTIDAD DE POLVO.** - La determinación cuantitativa del polvo de minas, durante las diversas operaciones de producción, se determina por dos métodos principales: Ponderal o gravimétrico y Numérico o Conimétrico. El ponderal se hace en el Vaso de Papel. El numérico o conimétrico en: El conímetro de Watson, El Midget Impinger y el Precipitador térmico.

**El Vaso de papel.** - Los filtros de papel sin cenizas se doblan en forma de cono, con un ángulo de  $60^\circ$ , y se introducen en cámaras metálicas. Para la succión del aire se utilizan aspiradores efectivos de polvo, bombas, inyectoros y otros.

El volumen aspirado se determina con reómetros. El aumento de peso del filtro indica la cantidad de polvo contenido en el volumen de aire que pasó por el filtro. Dividiendo el contenido de polvo por el volumen de aire pasado, se obtiene el contenido ponderal de polvo, en la unidad de volumen. Se debe hacer pasar unos 15 a 20 litros de aire con enrarecimiento del aire de 100 milímetros de agua.

**El Conímetro de Watson.**- Es el más antiguo de los contadores de polvo, consiste de un embolo, operado por un resorte, de una cámara de deposición, de una placa de vidrio, de un conducto de entrada y de un microscópio. El aire de 2.5 a 5 cc, después de pasar por un filtro de alambre, para separar el polvo grueso se envía por un orificio sobre la placa redonda de vidrio, que está dividida en 30 campos, cubierto por un captante de polvo, sobre el cual se deposita el polvo en forma de pequeñas manchas. La placa puede girar en el campo. Las partículas adheridas al vidrio se calculan por medio del ocular 3, utilizando una técnica especial.

**El Midget Impinger.**- De la Mine Safety Appliances Co. El aire aspirado por una pequeña bomba, que muestra un décimo de pie cúbico por minuto, atraviesa un frasco lavador que contiene un líquido a pequeña tensión superficial (alcohol isopropílico). La toma puede ser tan importante como uno lo desee y se presta a ser pesada después de la evaporación del alcohol y al recuento en una suspensión diluida o concentrada a voluntad. El peso del aparato es aproximadamente de 4 kilos.

El recuento se puede hacer en un microproyector de polvo M S A, que proyecta en una pantalla de 250 x 200 mm con un aumento de mil veces. La cuenta de partículas también se efectúa mediante un microscopio provisto de un sistema óptico estandarizado y con diferentes tipos de celdas, siendo las más empleadas la Celda Dunn, el Hemacitómetro y la Celda Hatch.

El Precipitador de Alambre Caliente o Término.- De la C.F. Casella and Co. Ltd.

Se basa en el fenómeno de la zona libre de polvo, del orden de 0.1 mm, alrededor del hilo caliente, que se debe al bombardeo molecular, en la dirección de la gradiente de temperatura. El rendimiento del instrumento es del 100 % para partículas bajo las 5 micras.

Se compone de un hilo de platino-niquel-cromo, de un diámetro de 250 micrones, calentado por el efecto Joule, tendido entre dos bloques de latón separados por una placa de baquelita de un espesor de 500 micrones, que tiene un canal para el paso del aire. Dos tapones de metal, latón, portadores de discos con vidrios de 18 mm de diámetro y dispuestos a uno y otro lado del hilo. Después de la toma de muestra, se recibe la imagen del hilo sobre las placas mediante el polvo, a condición de no sobrepasar los 6 o 7 cc por minuto. El inconveniente del aparato es la necesidad de efectuar el recuento microscópico sobre las placas.

RANGO RESPIRABLE DE PARTICULAS DE POLVO.- El polvo está formado por partículas que va

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA-35

rían desde 150 micras hasta algunos décimos de micra, de las cuales no todas ingresan a los pulmones a través del tracto respiratorio; después de muchas experiencias, se llegó a la conclusión que las partículas menores a 10 micras son las que llegan a los pulmones en mayor proporción, siendo las mayores retenidas parcialmente en el tracto respiratorio. Las partículas de una micra son las que predominan en los pulmones, las inferiores a una micra, entre 0.1 y 0.3 micras solamente el 35 % de ellas son retenidas en los alveolos pulmonares, escapándose el resto, de lo que se deduce que las partículas inferiores a una micra tienen un comportamiento similar a los gases. En pulmones silicosos se halló que el 70 % de partículas estaban en el rango de una micra y el 30 % restante no sobrepasaban las 10 micras. Por lo tanto son respirables, las partículas iguales o inferiores a 10 micras.

**VELOCIDAD DE ASENTAMIENTO DE PARTICULAS DE SILICE.**- Las partículas de sílice menores a 10 micras caen en el aire a velocidades relativamente constantes, cuyo valor se puede determinar por la ley de Stokes:

$$V = \frac{2r^2(y-y_1)}{g w}$$

donde: r = radio de la partícula en cms.

y = peso específico de la partícula en grs/cc.

y<sub>1</sub> = peso específico del aire en g/cc

g = aceleración de la fuerza de gravedad, 981 cc/seg

w = viscosidad del aire inmóvil a 21°  
(1.81 x 10<sup>-4</sup>poises)

si se considera que el peso específico del aire es muy pequeño para tomarlo en cuenta, se tiene:

$$V = 1.2 \times 10^6 r^2 y$$

Haciendo uso de la última fórmula, se ha calculado para una partícula de peso específico ( $\gamma$ ) 2.5, cayendo de una altura de dos metros y para diferentes radios, los siguientes tiempos de caída:

Diámetro de Partícula	Tiempo de Caída
100 micras	2.6 segundos
10 micras	4.4 minutos
1 micra	6.0 horas

Como se puede apreciar las partículas de 10 micras o menos diámetro, se encuentran en una caída lenta en la atmósfera, lo que podría asumirse que se hallan en suspensión.

**TIEMPO DE EXPOSICION AL POLVO.**- Este factor es importante en la producción de silicosis. Este factor varía considerablemente y depende principalmente de dos aspectos:

- a.- Contenido de sílice libre en el polvo ambiental
- b.- Constitución física del individuo

Los primeros nódulos en los pulmones no son detectados por los rayos equis, pero con el transcurso del tiempo se agrandan lo suficiente como para detectarlos y si la exposición del individuo en ambientes en los que el máximo permisible ha sido sobrepasado, los nodulos irán aumentando de tamaño. Aunque es raro que una persona llegue a ser incapacitada debido

solamente a la silicosis, en la mayoría de las circunstancias, los achaques y debilidades funcionales son producidas por edad avanzada y a la vez estas marchan con los efectos del polvo, y algunas veces la incapacidad de un hombre se atribuye a la silicosis, pero en realidad la mayor parte es debido a los estragos de la edad.

Sin embargo una persona que sufre de silicosis, es una persona enferma y el verdadero peligro reside en el advenimiento de una complicación pulmonar, como ser la tuberculosis, la eficema y la neumonía. El cuerpo carece ya de las defensas naturales que le permitan hacer frente en forma exitosa a las infecciones o enfermedades de los pulmones; y en este respecto la silicosis en si misma puede describirse como una enfermedad que incapacita seriamente.

Trabajando en una atmósfera muy contaminada la silicosis se desarrolla en un promedio de 5 a 10 años, si el polvo contiene mucha sílice libre este tiempo se reduce de 1 1/2 a 3 años solamente.

INFLUENCIA DE LA ALTURA EN LA EXPOSICION AL POLVO.- Los Mine-ros que trabajan a gran altitud requieren una mayor ventilación pulmonar, de la que requerirían al nivel del mar. De ahí que en un tiempo dado, penetra en sus pulmones mayor número de partículas de polvo y por consiguiente, la silicosis puede decarrollarse en menos tiempo del considerado normal.

El mayor número de minas peruanas se en-

cuentram sobre los 3,500 metros de altitud lo cual indica que la exposición al riesgo debe considerarse modificada por este factor. Si tomamos en cuenta que la exposición al peligro de contraer silicosis, está directamente relacionada con la cantidad de aire inhalado en cada región, se puede deducir de la valuación hecha para mantener la vida puede ser usada para este fin. El cuadro siguiente muestra la cantidad de aire ainhalado en la costa como a 4,000 metros de altura por un grupo de hombres clasificados por edad:

Edad	Lugar de Origen	Lugar de examen	Frecuencia respiratoria	Aire inhalado pies cú/min	Comparación
16-34	Costa	Costa	16.0	0.28	100
16-34	Altura	Altura	17.2	0.63	223
35-49	Costa	Costa	17.0	0.30	100
35-49	Altura	Altura	16.8	0.62	205
50-69	Costa	Costa	18.0	0.32	100
50-69	Altura	Altura	16.1	0.64	200

Este experimento hecho por el doctor Carlos Valencia en 1962 del I.S.O., en 219 mineros andinos y sus similares en la costa. Como puede observarse esto demuestra que los mineros andinos desarrollan un doble consumo de aire inhalado con respecto a los mineros de la costa, con mayor presición se puede decir que la relación es de 2.1:1, de lo que también se deriva que el peligro en el Tiempo de exposición al riesgo de silicosis se reduce a la mitad del tiempo normal. Una de las medidas que se deben procurar es que las concentraciones máximas permisibles sean reducidas para de ese modo eliminar el riesgo ocupacional.

**FUENTES DE POLVO.**- Las principales fuentes de polvo en las labores subterráneas en orden de importancia son las siguientes:

1.- Perforación neumática en seco, los taladros perforados hacia arriba generan las más altas concentraciones de polvo, disminuyendo a medida que varían hacia abajo de dirección del barrenado.

2.- Voladuras, cuando no se toman las debidas precauciones, generan altas concentraciones de polvo fino, que contamina grandes extensiones por tiempos variables, de acuerdo con las condiciones de ventilación.

3.- Remoción de material derribado, producto de los disparos, cuando el material derribado es seco y la ventilación deficiente.

4.- Carguío y descarga de carros metaleros, cuando el material está seco.

5.- Desatado de mineral o rocas, cuando la zona a desatar es seco.

6.- Enmaderado, particularmente en el empatillado de piquesm y chimeneas, donde la ventilación es deficiente.

La perforación neumática es la que produce mayor cantidad de polvo, las partículas generadas varían desde 1/4" hasta diámetros submicroscópicos. La perforadora "Jack hammer" al perforar 100 pies (normal en 8 horas), produce la trituración de 200 libras de roca de las cuales el 5% son partículas menores de 10 micras, por lo tanto por cada pié perforado se produce 50 gramos de polvo de rango respirable, se ha encontrado

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

que esta máquina produce más o menos mil millones de estas partículas por minuto de operación.

La voladura produce polvo, pero también remueve grandes cantidades de polvo que se hallaban asentadas en las paredes y superficies de las rocas y lugares próximos.

El polvo producto de la remoción de materiales varía grandemente con la naturaleza del trabajo.

**CAPITULO III**

**G A S E S**

**EL AIRE ATMOSFERICO.**- La atmósfera que rodea la tierra es una mezcla de gases. Gracias a él se hace posible la vida de seres. Carece de color, olor y sabor, es comburente.

**Composición:**

Nitrógeno	78.08 %	según volumen
Oxígeno	20.95 %	" "
Anhidrido carbónico	0.03 %	" "
Argón	0.93 %	" "
Otros gases	0.01 %	" "

El vapor de agua en el aire varía entre 0.05% y 4.0 %, en promedio 1.0 % según volumen, no influye en la relación de oxígeno y nitrógeno.

También se hallan indicios de Helio, Neón, Kriptón y Xenón, pero estos gases como también el argón, aparecen generalmente comprendidos en el contenido de nitrógeno, por las características que tienen de ser químicamente inertes. Por lo tanto para todos los fines prácticos se les puede considerar como parte del nitrógeno atmosférico.

**VOLUMEN DE AIRE NORMAL CONSUMIDO POR EL HOMBRE.**- El hombre en reposo consume cerca de 7 litros por minuto de aire, esta cantidad pasa a 25 litros cuando trabaja y puede alcanzar hasta 40 litros si realiza un esfuerzo considerable.

El hombre expira el aire con 16,3 % de oxígeno, 79.3 % de nitrógeno y 4.4 % de bióxido de carbono. El aire resi-

dual o alveolar tiene de 15 a 16 % de oxígeno y de 5 a 6 % de b $\frac{1}{2}$ ' óxido de carbono.

Solamente del 10 al 35 % del oxígeno inhalado por los pulmones, es el consumido por un hombre en condiciones normales, el aire exhalado contiene entre 2.6 y 6.5 % de anhídrido carbónico, que juntamente con el oxígeno no usado y el nitrógeno, es eliminado de los pulmones por la exhalación.

En el siguiente cuadro se indica con más precisión el consumo de aire de un hombre en la costa de acuerdo a la actividad desplegada:

Actividad	Respiraciones por minuto	Aire Inhalado en c.c. por respiración	Aire Inhalado por minuto en c. c.	O <sub>2</sub> Consumido por minuto en c.c.
Reposo	12 - 18	394 - 706	4,920 - 13,100	295
Ejercicio moderado	30	1,470 - 1970	45,800 - 59,000	1970
Ejercicio muy fuerte	40	2,450	98,500	2950

COMPOSICION DEL AIRE DE MINAS.- Se ha encontrado en muestras representativas, tomadas en minas norteamericanas. Los resultados se indican en la siguiente tabla:

Gases Constitutivos del aire	Promedio de todas las muestras	Hallado con mayor frecuencia
Oxígeno	20.62 %	20.76 %
Nitrógeno	79.19 %	79.16 %
Anhidrido Carbónico	0.19 %	0.08 %

Como se vé no discrepa mucho de las atmósferas despejadas. La primera columna es el promedio de numerosas mues

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA.-44  
 tras tomadas y analizadas por el Bureau de Minas de los Estados Unidos, se tomaron en el aire normal de minas metálicas. Las concentraciones medias de los constituyentes gaseosos, tal como se indica en la tabla, constituida por el analisis promedio, no representa obligatoriamente el aire de mina existente en toda ella, ni la atmosfera que probablemente sea la más normal en la Mina. La segunda columna indica el valor hallado con mayor frecuencia.

LAMPARAS DE SEGURIDAD APROBADAS.- Son aquellos instrumentos que por medio de una llama combustible, indica la presencia de gases combustibles en la atmosfera, especialmente el grisú y metano, dando el porcentaje existente según la longitud del halo que se forma alrededor de la llama. Las lámparas se apagan en atmósferas que contengan menos de 16.8 % de oxígeno.

Todas las Lámparas de Seguridad de flama permisibles que han sido aprobadas por el Bureau de Minas de los Estados Unidos, se resume en el siguiente cuadro:

No. Aprob.	Fecha	Marca	Características Especiales
201	1,915	Koehler	Armazón de acero, un capuchón, mecha plana
201 A	1,918	"	Las mismas con mecha redonda
202	1,917	Hailwood	Armazón de fierro, capuchones acerados dobles y mecha redonda.
203	1,919	Koehler	Armazón de aluminio, capuchones de <u>ace</u> ro dobles y mecha plana.
203 A	1,919	"	Las mismas que 203, con mecha redonda.

No. Aprob.	Fecha	Marca	Características Especiales
204	1,921	Wolf	Armazón de bronce, capuchones acerados dobles, mecha redonda.
205	1,924	"	Armazón de aluminio, capuchones acerados, dobles, mecha redonda.
206	1,924	"	Las mismas que 205, con mecha plana.
207	1,924	"	Detector de metano de flama, conocida como la lámpara de seguridad Baby Wolf, no aprobada como lámpara de seguridad.
208	1,927	"	Las mismas que 204, con mecha plana.
209	1,948	Koehler	"National" armazón de aluminio, capuchones dobles, mecha redonda.
210	1,949	Wolf	"Junior lamp" armazón de aluminio, capuchones dobles, mecha redonda.
211	1,953	Koehler	"National" armazón de acero, capuchones dobles, mecha redonda.

Todas tienen cierre magnético y cobertura protectora.

#### CLASIFICACION DE LOS GASES POR SU EFECTO EN EL ORGANISMO.- Los

ga-

ses por su efecto en el organismo, se pueden dividir en cuatro grupos:

Grupo I.- Irritantes

Grupo II.- Asfixiantes

Grupo III.- Adormecedores

Grupo IV.- Venenosos

Irritantes.- Los gases de este grupo son sustancias químicas que actúan corroendo los tejidos de las vías respiratorias, tanto de los pulmones como las demás partes del sistema respiratorio. como el cloro, bromo.

**Asfixiantes.**- En este grupo se comprende a los gases que conducen a la anoxia, falta de oxígeno, eliminando el poder de absorción del oxígeno por el organismo. Interfieren directamente en la función mecánica de la respiración. Como el nitrógeno, metano, hidrógeno, helio, etano, etc.

**Adormecedores.**- Incluye a todos los gases que ejercen efecto de drogas anestésicas, haciendo sangrar los pulmones, sin notar sus efectos. Como el anhídrido sulfuroso.

**Venenosos.**- No ejercen consecuencia inmediata, sino que se van fijando en el organismo hasta envenenarlo. Como los vapores de mercurio, fósforo, arsénico, etc.

**GASES DE MINA.**- Al pasar por la mina el aire cambia de composición, la cantidad de oxígeno disminuye, la de anhídrido carbónico aumenta, además se agregan al aire diversos gases, que se desprenden o producen de los siguientes procesos:

- Los Disparos producen Monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO y NO<sub>2</sub>) y amonio (NH<sub>4</sub>).
- Las locomotoras diesel producen: monóxido de carbono, aldehídos, anhídrido sulfuroso (SO<sub>2</sub>) y óxidos de nitrógeno.
- Anfo, eleva la cantidad de Oxidos de nitrógeno.
- Yacimientos, producen metano (CH<sub>4</sub>), bióxido de carbono y gases nitrosos.
- Carga de Baterías.- Hidrógeno (H<sub>2</sub>) y neblinas de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- Combustiones, producen monóxido de carbono, bióxido de carbono y óxidos de nitrógeno.

Además el aire muerto, que es una mezcla de an hidrido carbónico de 5 a 15 % y Nitrógeno de 95 a 85 %, en exceso comparado con el aire atmosférico. Varía desde unos décimos hasta algunas unidades por ciento en el aire de minas.

**EL OXIGENO.** - Gas desprovisto de color sabor y olor. Su peso específico con respecto al aire es 1.11. Constituye el 21 % del aire. El Oxígeno es un gas muy activo; se le necesita para la combustión y respiración. En ambientes con menos de 16.8 % de oxígeno la lámpara de seguridad se apaga.

Cuando la cantidad de oxígeno en el aire diminuye a 17 % la respiración se acelera, produce disnea y palpitación. Con 15 % la respiración es más rápida, se persibe zumbidos en los oídos y el corazón se acelera. Con 13 % puede haber hasta desmayo. Con 9 % se pierde el conocimiento, hay desmayo. Con 7 % se considera equivalente a 10,000 metros sobre el nivel del mar. Con 6 % se produce convulsiones en el organismo.

En el aire se considera como concentración mínima permisible de oxígeno 19.5 %.

El oxígeno disminuye en las minas por procesos de oxidación lenta de materias orgánicas (madera de mina, rocas, combustibles), desprendimientos de gases por los carbones y las rocas, explosiones de grisú y de polvo de carbón, incendios, respiración de personas, combustión de lámparas, etc.

El oxígeno se usa en minería, en aparatos de respiración artificial.

Se detecta la falta de oxígeno con el Indicador

Fuente de oxígeno fabricado por la Bacharach Industrial Instru-

ment Co. de Pittsburg Estados Unidos. Este detector debe ser usado a temperatura ambiental, esperando unos minutos antes de efectuar la primera lectura. Esta operación se hace con el fin de evitar errores en la determinación correcta de oxígeno. Se logra medir desde 0.0% hasta 22.0 % de oxígeno, con aproximación de 0.2%.

**EL NITROGENO.**- Gas sin color olor ni sabor. De peso específico 0.97. Químicamente inerte. No mantiene ni la respiración ni la combustión. No es nocivo pero el aumento de su contenido en el aire es perjudicial para el hombre, por ser una causa de fuerte disminución del oxígeno.

Fuentes de aumento del contenido de nitrógeno en las minas: Putrefacción de sustancias orgánicas y trabajos con explosivos; así como desprendimientos de nitrógeno por las rocas y carbones. En las minas de potaza y ciertas minas de carbón de Alemania, el grisú contiene hasta 40 % de nitrógeno. Además se tiene datos de emanaciones de nitrógeno puro en ciertos depósitos sedimentarios.

La concentración máxima permisible en el aire es 80.0 %.

El nitrógeno no puede ser determinado por los métodos ordinarios de análisis de gases: absorción y combustión, queda siempre después de haber eliminado los otros gases y por consiguiente se le determina por diferencia.

El nitrógeno apaga inmediatamente la llama de las lámparas de diversos combustibles, es irrespirable cuando no está mezclado con el oxígeno y si es respirado produce la muerte

por asfixia.

Se recupera a un afectado por medio de respiración artificial o suministrándole gases de amonio por inhalación, no produce efectos posteriores al recuperarse de la asfixia.

**GAS METANO.**- De peso específico 0.554, por esta razón se sitúa en la parte superior de las labores. Es inodoro, incoloro e insípido, a veces se llega a percibir su olor característico. Es sofocante desplaza el oxígeno. Su propiedad más peligrosa es formar mezclas explosivas con el aire, la cantidad a la cual se vuelve explosiva es entre 5 y 15 %, siendo la explosión máxima a 9.1 %.

Se le puede detectar con la lámpara de seguridad en atmósferas donde el contenido de oxígeno sea mayor a 19 % ya que por debajo de 16.8 % de oxígeno la lámpara se apaga. Se nota la presencia del metano, por la aureola azulada que dá a la llama, que varía con el contenido de gas. Un experto en mediciones puede lograr apreciaciones sobre 1%. Las Lámparas Koehler y Wolf, con 1% producen una aureola de 7.7 mm de altura; con 2 % es de 11.5 mm; con 3 % es de 20.0 mm; con 3.5 % de 30.0 mm; con 4 % la aureola es de 43.0 mm, que es la altura del manguito de vidrio de la lámpara. En las mediciones se debe mover la lámpara de abajo hacia arriba.

Su concentración máxima permisible en el aire es 0.5 %. Debido a su poca reactividad química a temperatura normal, queda como única medida práctica para su eliminación la Ventilación. Las investigaciones para prevenir las explosiones de gas

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA- 50  
mediante absorbentes químicos o bacterias, todavía están sin resultados prácticos.

El Grsú es el metano en un 95 % y el resto impu rezas de anhídrido carbónico (menos de 1%), nitrógeno (varía entre 0.2 a 30 %) y a veces hidrógeno y etano (relativamente raros de 1 a 4 %), ácido sulfhídrico (menos de 1%) y óxido de carbono (de 0.1 a 1.0 %).

El metano es asfixiante cuando se le encuentra en cantidad suficiente que baje el contenido de oxígeno a un pun to más bajo que el necesario para las diferentes actividades. Sus efectos se parecen a los producidos por el Nitrógeno. De allí que no resulta perjudicial para la salud después de la recu peración. A veces es necesaria la respiración artificial, pero es suficiente la exposición al aire fresco.

MONOXIDO DE CARBONO.- Gas sin color, olor ni sabor. Debilmente soluble en agua. Tóxico. Peso específico 0.97. Combustible, explota cuando su contenido en el aire está en tre 13 y 75 %. La venenosidad del monóxido de carbono se debe a la propiedad de la sangre a unirse con él, de 250 a 300 veces más rápidamente que con el oxígeno, a consecuencia de esto la sangre pierde su propiedad de absorber oxígeno.

Una concentración de 0.02 % puede producir sín tomas primarios característicos: dolores de cabeza, embotamien to mental y laxitud física en pocas horas de tiempo. Una concen tración de 0.06 % puede producir dolor de cabeza en menos de una hora y desvanecimientos en poco más de tiempo y ser fatal

en cuatro horas. Concentraciones mayores pueden causar inconciencia casi inmediata y la muerte en pocos minutos. Pero a altas concentraciones, un individuo puede experimentar pocos o ninguno de los síntomas y fallecer casi instantáneamente.

Medidas de resucitación son usadas con éxito en víctimas de envenenamiento con monóxido de carbono. En los estados avanzados se le debe suministrar oxígeno puro o carbóxígeno (mezcla de 95 % de oxígeno y 5 % de bióxido de carbono), esta mezcla evita severidad y posibilidad de serios efectos posteriores. Si no se tiene inhalador de oxígeno, el flujo de la botella se debe dirigir en forma constante a la cara de la víctima. Un médico también puede administrar azul de metileno por vía intravenosa. Después de cualquier resucitación, la víctima debe ser observada por un médico durante las 24 horas posteriores a la recuperación, por lo menos.

La cantidad máxima permisible es 50 partes por millón o sea 0.0050 %, para exposición de ocho horas al día.

Se produce en los disparos y en las combustiones incompletas, se considera que un kilogramo de explosivo en condiciones mineras, produce 40 litros de monóxido de carbono más óxidos nítricos recalculados. Se puede formar en los pequeños incendios de enmaderado de minas.

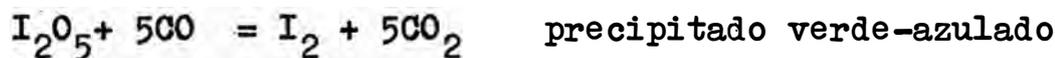
No se desprende del carbón, sino el carbón reacciona con el oxígeno del aire, en forma muy lenta y pequeñísima.

Se le detecta en el ambiente con colorímetros, análisis químicos de muestras del aire minero, indicadores ter-  
TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

micos y pequeños animales (ratones blancos y canarios), este último muy incierto dado que a veces la resistencia de los animales es mayor a la del hombre. El Colorímetro de paladio, en contacto con el monóxido de carbono hace precipitar el paladio de color negro, según la siguiente ecuación:



El colorímetro de pentóxido de Yodo, en contacto con el monóxido de carbono, hace precipitar el yodo de un color verde azulado, según la ecuación:



El colorímetro manufacturado por la Mine Safety Appliances de Pittsburg U.S.A., da lecturas de 0.001 a 0.1 % en volumen, así se use en presencia de vapores de agua o de gasolina, pesa menos de media libra, sus partes son:

- a.- Tubo indicador
- b.- Bombilla aspiradora
- c.- Escala de colores giratoria

En el tubo hay una sustancia química impregnada de sílice, que durante la operación de detección cambia a diferentes tonos de verde. El resto del tubo está ocupado por un protector químico que absorbe el vapor de agua, vapor de gasolina y otras sustancias de interferencia en la determinación del monóxido de carbono.

**BIOXIDO DE CARBONO.**- Gas sin color ni olor, con un sabor ligeramente ácido, de peso específico 1.53. Es inofensivo para la salud hasta 0.5 %; con 3.0 % la lámpara empie

za a apagarse y la respiración aumenta; con 5.0 % la Lámpara de seguridad se apaga, la respiración se triplica; con 10 % puede producir estado comatoso; y con 20 a 25 % la muerte en algunos segundos. En pequeñas cantidades estimula la respiración.

En caso de asfixia por el anhídrido carbónico el paciente debe ser tratado de idéntica manera que con los casos de asfixia con nitrógeno, tratado por shock. No hay síntomas posteriores al recuperación por esta asfixia. Solo un fuerte dolor de cabeza y nauseas.

Se le detecta con el indicador Fyrite de Anhídrido Carbónico, fabricado por la Mine Safety Appliances Co. de U.S.A., es muy semejante en construcción al de oxígeno.

El anhídrido carbónico se forma en minas, por la putrefacción de maderas, oxidación lenta del carbón, descomposición de rocas carbonatadas por aguas ácidas, explosiones de grisú y polvos de carbón, por incendios subterráneos, como producto de explosiones, respiración de personas, combustión de lámparas, etc.

El anhídrido carbónico es 1 y 1/2 veces más pesado que el aire y por eso puede acumularse en el piso de las labores y en las partes inferiores, de las labores inferiores. La lámpara de carburo no sirve para indicar la presencia de anhídrido carbónico, ya que todavía arde cuando el hombre ya está asfixiado.

Desprendimientos de anhídrido carbónico se presentan bajo diferentes formas, de 285 minas estudiadas por Skochinsky y Komarov, en la cuenca del Donets, se observó que en

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

51 minas el desprendimiento era mayor de 15 metros cúbicos por tonelada de producción por día.

Por lo general las minas viejas tienen mayor cantidad de anhídrido carbónico en la corriente de retorno que las minas nuevas.

Quinientos mineros, trabajando al máximo producen en total 0.25 metros cúbicos de bióxido de carbono por minuto.

La concentración máxima permisible en el aire es 0.5 % o sea 5,000 partes por millón, en el aire normal su concentración es 0.03 % lo que equivale a 300 partes por millón.

**ACIDO SULFHIDRICO.**- Gas sin color, con característico olor a huevos podridos y gusto azucarado. Su peso específico es 1.19. Arde y cuando su concentración en el aire alcanza 6.0 % forma mezcla explosiva. Es facilmente soluble en agua.

Fuertemente venenoso, irrita las mucosas de los ojos, vías respiratorias y ataca el sistema nervioso. El envenenamiento peligroso se produce en media hora con un contenido de 0.05 % de ácido sulfhídrico y con 0.1 % rapidamente viene la muerte por envenenamiento.

Se le puede detectar por su olor característico, pero muchas veces inhabilita el olfato, dando falsa impresión de no existir peligro. Se debe usar en su detección el Detector de Acido Sulfhídrico de la Mine Safety Appliances Co.

Las fuentes de producción en las minas son: Descomposición de sustancias orgánicas, descomposición de minerales, desprendimiento de las grietas, por combustión incompleta de explosivos.

sivos en disparos. Su concentración máxima permisible es 0.002 %.

A la persona que ha sufrido intoxicación con este gas, se le debe cubrir los ojos con paños húmedos, para prevenir el rechazo a la luz que se llama fotobia, o sea temor a la luz pues como los ojos están con los efectos del ácido sulfhídrico lo hacen reaccionar de esta manera; produce dolor de cabeza con la exposición de los ojos a la luz. Además se hace las atenciones como en el envenenamiento con monóxido de carbono. Con 24 horas de observación médica después de su recuperación.

**ANHIDRIDO SULFUROSO.**- Gas incoloro, sofocante, con fuerte olor sulfuroso. Inflamable muy pesado, su peso específico es 2.26. Se disuelve fácilmente en agua. Muy venenoso ya en concentraciones de 0.001 % en el aire, ataca las mucosas y con 0.05 % es peligroso para la vida.

Se forma por la combustión de carbones con alto contenido de azufre, durante la dinamitación de ciertas rocas o minerales sulfurosos; por desprendimientos de carbón y rocas con ácido sulfhídrico.

Se le detecta fácilmente con el olfato, esto debido a su característico olor. Es intolerable al respirar, antes de alcanzar concentraciones que puedan hacer peligrar el organismo. El aparato usado en su detección es el Detector de Anhidrido Sulfuroso de la Mine Appliances Co.

Las personas con asfixia producida por el anhidrido sulfuroso ( $SO_2$ ), reciben un tratamiento similar al caso de la producida por el nitrógeno o anhidrido carbónico, pero siempre se

debe consultar al Médico, en este caso peculiar del anhídrido sulfuroso.

Su concentración máxima permisible en el aire es 0.0005 % o sea 5 partes por millón.

**GASES NITROSOS.**- El óxido nitroso NO, gas incoloro, con peso específico de 1.04, se óxida en el aire y pasa a óxido nítrico NO<sub>2</sub>. El óxido nítrico es un gas de color pardo rojizo, bastante más pesado que el aire, su peso específico es 1.58, se disuelve activamente en agua.

En los pulmones se disuelve con la humedad propia de estos, produciendo ácido nítrico y nitroso, que corroen las vías respiratorias, la respiración de pequeñas cantidades puede producir la muerte. La concentración de 0.02 % produce un envenenamiento mortal. Los síntomas de envenenamiento se manifiestan a veces después de 20 o 30 horas de haberse aspirado estos gases produciendo a veces la muerte.

La concentración máxima permisible es 0.0005 % o 5 partes por millón.

Se forma en las minas con los trabajos con explosivos. En explosiones incompletas de dinamita. También son componentes de los gases de escape de las máquinas diesel y de gasolina. El explosivo Anfo es el que produce el mayor volumen de gases nitrosos, por esta razón se debe limitar su uso en minería subterránea.

Para localizar la presencia de gases nitrosos puede servir el papel humedecido con una solución de almidón y yodu

ro de potasio, que se colorea rápidamente de azul, con la presencia de estos en el aire hasta en muy bajos contenidos.

**ACETILENO.**-  $C_2H_2$ , densidad 0.908. Gas incoloro, con olor característico a ajos. Es explosivo. No es común encontrarlo en minas, solamente se produce por las lámparas de carburo a-pagadas. O bien por la reacción de carburo de calcio con el agua en los lugares húmedos donde se halla derramado. Es muy soluble en agua, una libra de carburo de calcio, produce en contacto con el agua 5 pies cúbicos de acetileno y para disminuir esta cantidad y hacer la mezcla no explosiva, se necesita 200 pies cúbicos de aire. En un rango de 2.5 a 80 % por volumen de aire, es mezcla explosiva, produciendo temperaturas hasta 6,000°F.

En regulares cantidades puede causar deficiencia respiratoria y dolor de cabeza, además vértigo, trastornos gástricos, semiasfixia, pérdida del conocimiento en periodos breves. En cantidad considerable puede causar la muerte por efecto anestésico. A las víctimas del acetileno, se les trata por asfixia, luego debe sacarse a la víctima inmediatamente al aire fresco, la respiración artificial debe iniciarse lo más antes posible. A veces es suficiente exponer al afectado al aire fresco para que los síntomas desaparezcan. En casos graves se debe poner en conocimiento del médico.

**COLECTORES DE GASES Y VAPORES.**- Los colectores más usados son:  
Pipetas de muestreo, absorbido  
res y miscelaneos.

Pipetas de muestreo.- Son recipientes de muestreo de sección circ-  
TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

cular, que termina en sus extremos con un tubo de diámetro pequeño provisto o no de una válvula o llave. La muestra de gas se puede coleccionar por vacío, por desplazamiento de aire o por evacuación de volumen de líquidos.

**Absorbedores.**- Son frascos de vidrio, que tienen por objeto poner íntimamente en contacto la masa gaseosa con el líquido empleado para capturar el gas o vapor. Se puede mencionar entre ellos los Burbujeadores, que dispersan el gas dentro del líquido en finísimas burbujas, mediante un diafragma poroso; los Atomizadores, que separan el líquido absorbecedor en finas gotitas dentro la masa gaseosa por medio de inyectores; y los Absorbedores que emplean una sustancia tal como el gel de sílice o carbón activado, impregnados con un reactante específico para cada gas.

**Miscelaneos.**- Existen algunos instrumentos para coleccionar gases o vapores, que emplean como medio colector una cinta de papel filtro impregnada con una sustancia química, el contenido gaseoso al reaccionar produce un cambio colorimétrico de intensidad variable según su concentración.

Todos estos procesos de coleccionación, sirven para después llevar al análisis químico de laboratorio y determinar las unidades de porcentaje de los gases en el volumen total.

**LIMITES PERMISIBLES DE GASES EN LA MINERIA PERUANA.**- Para los efectos de un buen control de las Minas Peruanas, se debe tener presente que los límites aprobados por la Inspección de Minería respecto a gases es:

- |   |                                |
|---|--------------------------------|
| a.- Oxígeno O <sub>2</sub>                | mínimo en 18.0000 % en volumen |
| b.- Anhidrido carbónico CO <sub>2</sub>   | máximo en 0.5000 % " "         |
| c.- Metano CH <sub>4</sub>                | " 0.5000 % " "                 |
| d.- Monóxido de carbono CO                | " 0.0050 % " "                 |
| e.- Anhidrido sulfhídrico SH <sub>2</sub> | " 0.0020 % " "                 |
| f.- Gases nitrosos NO y NO <sub>2</sub>   | " 0.0005 % # "                 |
| g.- Anhidrido sulfuroso SO <sub>2</sub>   | " 0.0005 % " "                 |
- h.- Cualquier gas no denominado deberá mantenerse en límites que no sean dañinos para la vida o salud de los trabajadores.
- i.- El Hidrógeno, en salas de carguío de baterías no debe sobrepasar 2 % en volumen, en cualquier punto de la sala.

**REDUCCION DE UN GAS A CONCENTRACION MAXIMA PERMISIBLE.**- Para lograr una

reducción del gas detectado hasta una concentración máxima permisible, se debe inyectar aire para diluir el gas, ya sea con ventiladores o abriendo chimeneas o galerías con este fin, para calcular el volumen de aire necesario para diluir un gas al límite máximo permisible se puede usar la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{Q_g}{C.M.P. - B} - Q_g$$

donde:

Q = en pies cúbicos por minuto (p.c.m.)

C.M.P. = debe estar en tanto por uno

B = Cantidad del gas en el aire en tanto por uno.

Q<sub>g</sub> = Velocidad de producción del gas en p.c.m.

Es aplicable cuando se conoce o se llega a calcular la velocidad de producción del gas.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA

CAPITULO IV  
CONTROLES DE POLVO  
Y GASES

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

**CONTROL DE POLVO.**- Es obvio decir que si el polvo no se produce no puede mezclarse con el aire y por tanto llegar a ser perjudicial para la salud. Si una atmósfera está tan contaminada que hasta se observa el polvo a simple vista, la seguridad i eficiencia resultarán necesariamente afectadas, si no es posible evitar la producción de polvo. Existen Métodos que disminuyen o eliminan su dispersión por la atmósfera.

En general el Uso de Agua en los procesos Industriales, ya sean subterráneos o en la superficie, es una de las maneras más eficaces para controlar el polvo.

Le sigue al agua un buen sistema de Ventilación Mecánica Controlada, con el propósito de disipar el aire contaminado de los lugares de trabajo y expulsarlo a la atmósfera exterior o conducirlo a un lugar donde pueda ser eliminado efectivamente.

El principio básico para reducir el polvo ambiental es atacarlo en su punto de origen. Es difícil controlar el polvo después que el aire lo ha esparcido a través de los lugares de trabajo. Si no se puede hacer uso del agua o ventilación mecánica, se debe depender de aparatos de protección personal, como ser respiradores, los cuales no son nunca completamente satisfactorios.

**CONTROL DE GASES.**- Siendo los gases el contaminante de efecto inmediato en la salud del trabajador, produciendo a veces la muerte en concentraciones apreciables. No puede ser de

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA -62  
jado de lado al proyectar medidas de control de Ambientes Mineros.

El Método de mayor difusión y con resultados positivos en la eliminación de gases, es la Ventilación Mecánica controlada. Haciendo unas veces uso de la dilución y otras a rrastrando los gases de sus fuentes de producción, los conducen a lugares donde puedan ser eliminados o los llevan a la atmósfera exterior. En la Ventilación se debe lograr bajar la concentración del gas a valores inferiores o iguales a los Máximos per misibles establecidos.

El uso de agua en el control de gases, se li mita a aquellos que se disuelven en ésta, que son relativamente pocos, entre ellos el anhídrido carbónico, gases nitrosos, anhi drido sulfuroso, ácido sulfídrico e Hidrógeno, además para disolventos se necesitan sistemas y aparatos para lograr buenos resultados.

### CONTROL DE POLVO CON AGUA

**BARRENADURA EN HUMEDO.**- En la Operación de perforar las máquinas perforadoras deben inyectar agua limpia a través del barreno, que tiene un orificio central con este fin. Esto elimina la producción de polvo, que siempre ocasiona las operaciones de barrenadura, pero se debe tener cuidado de hacer uso del agua desde el empate o inicio del taladro. Si se pudiese implantar el uso de máquinas perforadoras llamadas de cabeza mojada (wed head), se eliminaría al máximo el peligro del polvo, dado que esta máquina no funciona sin abrir previamente la inyección de agua, impidiendo que el trabajador perfore o empate los barrenos en seco.

Para conseguir los mejores resultados en la aplicación de la perforación en húmedo, es necesario tener en cuenta los siguientes factores: Volumen y Presión de agua.

Por experiencias realizadas se ha establecido que el volumen mínimo de operación por máquina es de un galón por minuto y la presión óptima fluctúa alrededor de 30 libras por pulgada cuadrada.

En los lugares que por falta de medidas de conducción de agua por ductos, se tendrá que usar tanques portátiles de agua, lo que demanda hacer un control más riguroso respecto al tiempo que debe durar el agua dada la capacidad del tanque, no debiendo bajar el consumo de un galón por minuto.

Además de estos factores se debe considerar:

- a.- El tipo de máquina perforadora, su consumo es proporcional a su rendimiento.
- b.- Dureza del material.- Los materiales más duros por lo general producen partículas de polvo de tamaño respirable, que aveces no se aprecia por ser exclusivamente partículas pequeñas; los materiales blandos general más cantidad de polvo, pero con menor proporción de partículas de tamaño respirable.
- c.- Tiempo efectivo de perforación.- Ligado estrechamente al tipo de labora realizar y el lugar en el que se halla expuesto.
- d.- Inclinación del barreno.- Señalado en el capítulo de fuentes de producción de polvo (Capítulo II).
- e.- Grado de control requerido, se refiere al mayor interés que hay que tener en el control de rocas que producen altas concentraciones de sílice libre.

**DISPAROS REGULADOS.-** Los disparos producen grandes concentraciones de polvo, lo que presenta un mayor riesgo al producirse sílice libre recién fragmentada, por esta razón la voladura de pilares o frentes de galerías de desarrollo, se debe hacer al término del turno o guardia, para que en el momento de cambio de grupo de hombres, se logre permitir la ventilación de la atmósfera, antes que los hombres que ingresen lleguen a estos lugares contaminados. Además se debe instalar neblinadores de agua o atomizadores, cerca de los lugares de disparo para que el agua asiente rápidamente el polvo y absorva la mayor parte de los gases producidos en el disparo, lo cual permite a los obreros

ingresar a sus labores en un tiempo menor y con una atmósfera más despejada, aumentando de este modo su rendimiento.

El principio de operación de los Atomizadores, se basa en que las finas gotillas de agua producen la supresión del polvo, por impacto que producen sobre las partículas, precipitándolas inmediatamente. Cuando las gotillas son más finas y numerosas la supresión del polvo es más efectiva, si se agregan a esto sustancias humectantes, sustancias de superficie activa, la supresión de polvo es aún más eficiente.

Hay dos tipos de atomizadores: Hidráulicos y Neumáticos. Los primeros operan por descarga de agua por un orificio fino a alta presión. Los neumáticos, por acción del aire comprimido sobre el agua, son más efectivos porque producen gotillas más finas, y el aire comprimido usado aumenta la ventilación y remueve las partículas no afectadas por el agua pulverizada.

Uno de los problemas más frecuentes en la utilización de atomizadores de agua, de cualquier tipo, es la obstrucción del orificio de salida de agua, de aquí que es imprescindible la filtración del agua antes de usarla. En el caso de salidas de 1mm, la malla filtrante debe ser la No. 100 de la serie Tyler, que proporciona aberturas de 0.147 milímetros. Las mallas 65 y 48 también pueden ser usadas ya que corresponden a aberturas de 0.208 mm y 0.295 mm respectivamente.

La ubicación de los Atomizadores se debe determinar por medio de experiencias para llegar a su óptima posición.

Como última medida de uso de agua en el control de polvo en los disparos, es el previo humedecimiento de to dos los lugares y superficies vecinos al sitio de disparo.

**TRANSPORTE DE MINERAL.**- Antes que el mineral o rocas sean removi das deben ser mojadas completamente para evitar la dispersión del polvo, además se debe rociar todo el lu gar de trabajo para evitar que el polvo contamine otros ambientes de trabajo. La práctica de humedecer los lugares de trabajo para la remoción y transporte de mineral ayuda en la disolución de los gases provenientes del disparo.

En el transporte del material de los buzones a los hechaderos, se debe considerar el carguío y descarga como fuentes de producción de polvo. En ambos casos se puede hacer em pleo de atomizadores de agua y completarlos con una adecuada Ven tilación.

**DESATADO DE ROCAS Y MINERALES.**- Como sabemos el desatado de ro- cas se debe hacer previamente al traslado y remoción de los materiales producidos en los disparos, para evitar la producción de polvo en esta operación, se debe hu medecer la superficie a ~~des~~atar o desquinchar, por medio de las mangueras de agua de perforación. Con ayuda de una buena ventila ción, también se elimina el polvo formado.

**EMPAQUETADO.**- Antes de iniciar el empacillado, se debe humedecer las superficies en las que se vá a trabajar. Además se debe usar Ventilación auxiliar para una mejor eliminación.

PROTECCION DE POLVO Y GASES CON RESPIRADORES

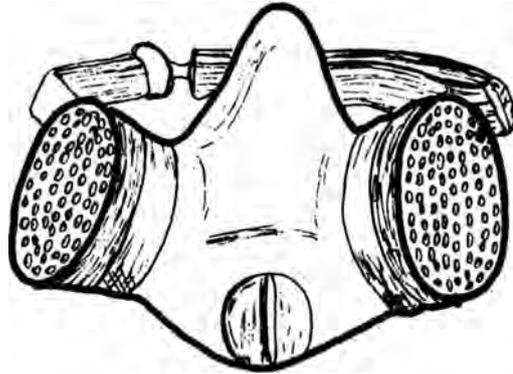
**RESPIRADORES COMO MEDIO DE PROTECCION.**- No obstante la aplicación de los Métodos de Control de Polvos y Gases, por medio de la aplicación racional del agua y de la Ventilación, pueden surgir ciertas situaciones en las cuales los trabajadores esten expuestos a concentraciones peligrosas de éstos, no pudiéndose controlar estos casos, es necesario proveer a los obreros de medios de protección personales. Los Respiradores son equipos muy necesarios para ser usados como protección complementaria, en lugares donde existe un peligro que no puede ser controlado.

Es bueno puntualizar que los respiradores deben usarse unicamente cuando la aplicación de todos los otros medios de control de polvo no sean prácticos, tratándose de operaciones pasajeras.

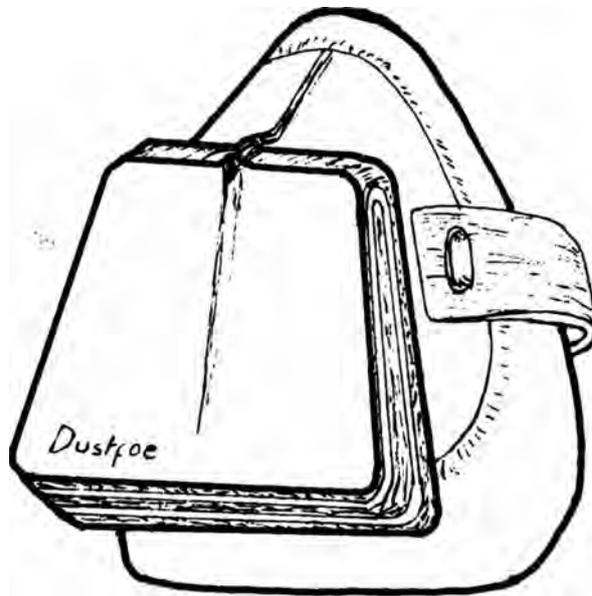
**RESPIRADORES DE POLVO DE TIPO APROBADO.**- Aunque no es la forma de control más efectiva que las ya mencionadas, debe exigirse el uso de respiradores de polvo aprobados por el Bureau de Minas de los Estados Unidos, al personal que labora en operaciones polvorientas, hasta que se introduzcan las medidas de control de polvo y las concentraciones disminuyan dentro de las normas indicadas.

No se debe confiar en aparatos de respiración, ya que estos pueden transformarse en un obstáculo para

# RESPIRADORES DE POLVO



RESPIRADOR  
DE POLVO  
DE DOS ENTRADAS



RESPIRADOR  
DE POLVO  
DE UNA ENTRADA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA-68

una labor eficiente, principalmente a grandes alturas, ya que la respiración es más difícil al desarrollar un esfuerzo físico por periodos prolongados. Un respirador debe tener una presión estática de 50 mm de agua cuando se hace circular 85 litros de aire por minuto, con una proporción de 40 a 60 mg de polvo por metro cúbico; y de 25 mm de agua en la expiración. Y no debe pasar en el tiempo de 30 minutos más de 4 miligramos de polvo cuando trabaja a 32 litros por minuto. Las válvulas deben ofrecer baja resistencia al flujo de aire y deben cerrarse herméticamente.

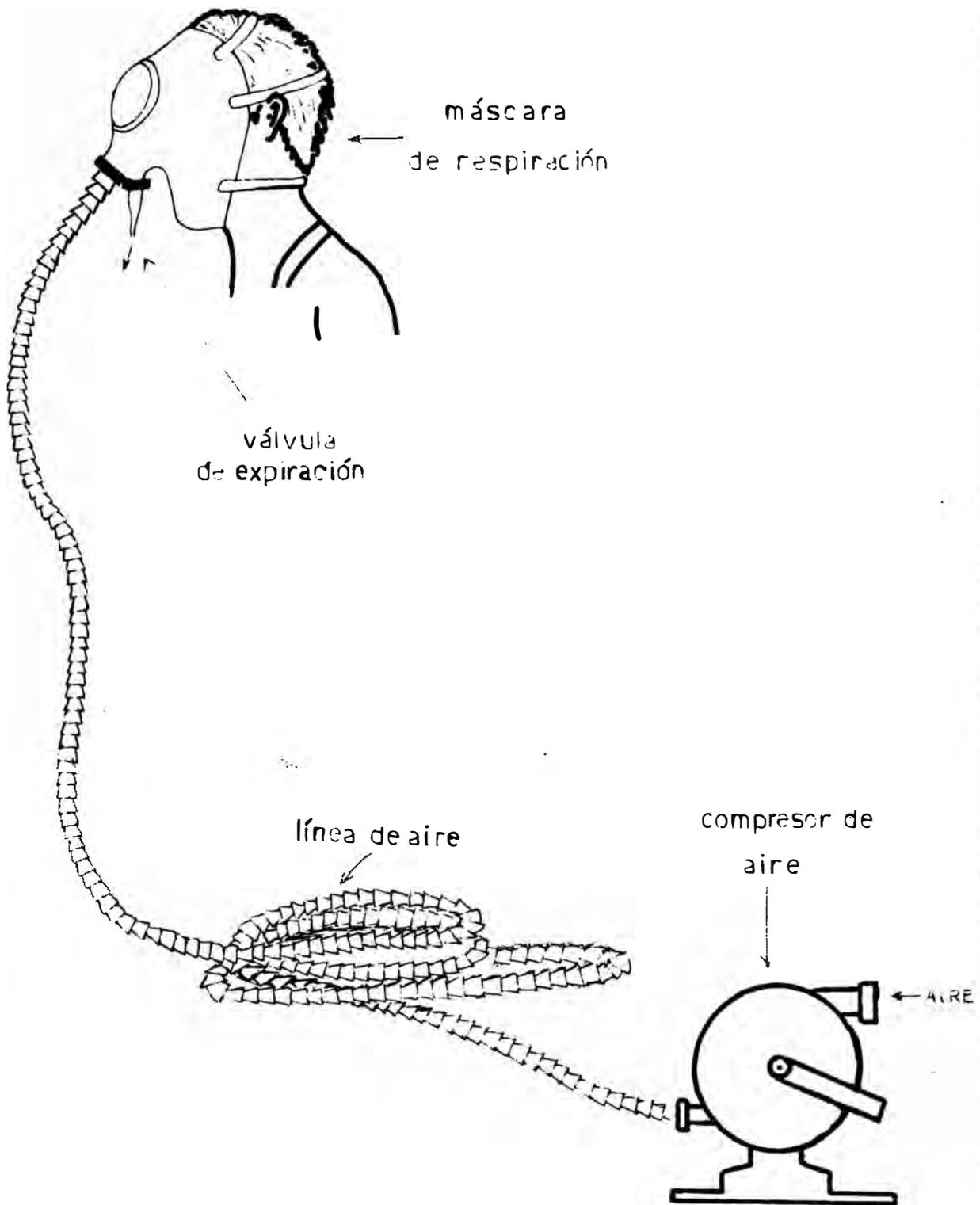
**RESPIRADORES DE GASES.**- Son medios de protección personal usados para evitar al portador, la inhalación de los constituyentes dañinos de la atmósfera que lo rodea. Se clasifican en :

- a.- Respiradores de abastecimiento de aire por línea.
- b.- Respiradores con abastecimiento propio de oxígeno.
- c.- Respiradores de filtro mecánico o químico.

**RESPIRADORES DE ABASTECIMIENTO DE AIRE POR LINEA.**- Son aquellos que tienen como aportador de aire una manguera flexible de varios metros de longitud, conectada a un centro de aprovisionamiento de aire normal y el otro extremo va conectada a una máscara portada por el usuario, su uso se reduce a operaciones a escasos metros del centro de abastecimiento de aire. Su uso más difundido es en la limpieza de tanques de combustibles por su parte interna.

Se debe tener una central de aire fresco, en vez de usar el aire comprimido de las redes de uso en la mina,

# RESPIRADOR CON LINEA DE AIRE



ya que este debe estar libre de impurezas dañinas o desagradables como son: aceites, olores, vapores extraños, humedad, partículas de sarro, suciedad de las líneas de aire y hasta monóxido de carbono producido por combustión del lubricante por operación impropia de las compresoras. Estos riesgos se pueden simplificar con un compresor especialmente reservado para el fin de respiración, con un mantenimiento bueno y un control de operación eficiente. Control de temperatura, montaje de un equipo colector de monóxido de carbono y una alarma en el tubo de salida.

**RESPIRADORES CON ABASTECIMIENTO PROPIO DE OXIGENO.**- Son aquellos que no necesitan aire de ninguna línea, sino que tienen su fuente propia de oxígeno. Es el grupo de aparatos de salvataje, que tienen su más amplia aplicación en minería subterránea.

En las operaciones de salvataje y rescate minero, los componentes de estas cuadrillas deben estar provistos de aparatos de respiración propio de oxígeno, para poder trabajar cómodamente en atmosferas irrespirables o tóxicas. Además cabe anotar que una cuadrilla debe estar compuesta por 5 o 6 hombres, recomendación del Bureau de Minas U.S.A. En una mina grande debe haber por lo menos cuatro cuadrillas, las cuales deben entrenar continuamente.

Su finalidad es remplazar tanto como sea necesario el oxígeno consumido por los pulmones durante la respiración estos aparatos usan oxígeno puro. El respirar oxígeno puro a presión normal o ligeramente mayor que la del aire atmosférico no

será dañino para el que usa el aparato durante dos o tres periodos consecutivos siempre que es persona tenga muy buena salud.

El oxígeno puro tal como se utiliza en los aparatos respiradores de oxígeno a la presión atmosférica, puede inhalarse entre 7 y 40 horas sin presentar efectos perjudiciales.

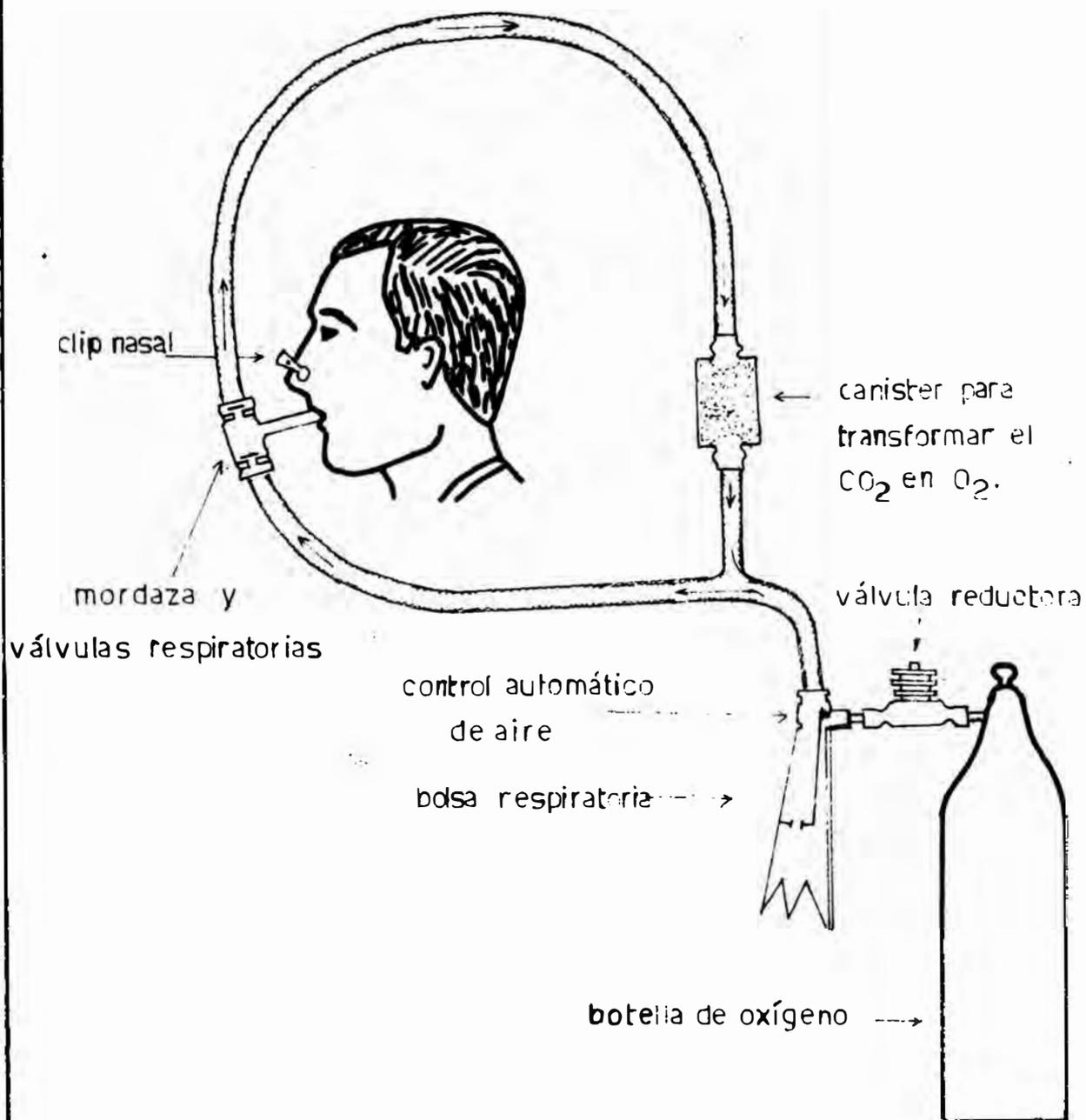
El oxígeno a presión normal produce irritación en los pulmones, pero a mayor presión ataca el sistema nervioso central, que se manifiesta en ataques, convulsiones en la cabeza, cuello y extremidades, respiración irregular y fatigosa, náuseas y en algunos casos apnea o cesación momentánea de la respiración.

El riesgo que representa llevar aparatos de respiración de oxígeno es algo que no hay que tomar en cuenta, en las operaciones de mina o bajonel agua. La siguiente tabla dá el límite máximo de tiempo que a diferentes presiones puede soportar el hombre de oxígeno puro:

Presión del Oxígeno	Tiempo de exposición sin efectos nocivos
1 atmósfera	7 - 40 horas
2 "	0.75 - 3 "
3 "	0.50 - 2 "
4 "	0.20 - 0.7 "
7 "	0.10 "
9 "	0.05 "

La mayor parte de experimentadores opinan que una exposición de 24 horas a presión normal no surte efectos nocivos.

# RESPIRADOR CON ABASTECIMIENTO PROPIO DE OXIGENO



que retiene por fil  
tración mecánica las partículas suspendidas en el aire que pasan  
a través de él. Este grupo incluye respiradores para polvo, hu-  
mos y nieblas. Protege al usuario solo del material específico  
para el cual está fabricado.

El respirador de filtro químico, es aquel di-  
señado para eliminar ciertos constituyentes gaseosos del aire a  
respirar. El material de estos es generalmente una sustancia quí-  
mica granulada que reacciona con el compuesto dañino, reteniéndolo.

Todos los aparatos de respiración, deben ser  
sometidos a las siguientes pruebas, para hacer extensivo su uso,  
y es frente al Bureau of Mines de los Estados Unidos de Norte A-  
mérica:

- La máscara debe ser hermética en su unión con la cara.
- Debe reducir la cantidad de polvo en el aire inhalado.
- Debe ofrecer menor resistencia a la respiración, que aquella  
que produzca incomodidad, 2 pulgadas como máximo.
- Debe ofrecer un grado satisfactorio de conveniencia, servi-  
cio y durabilidad.
- Debe ofrecer una protección adecuada.
- Brindar facilidad y bajo costo de mantenimiento.

En el mantenimiento se comprende la esterili-  
zación que se debe dar con una solución de MSA Cleaner Sanitizer  
en agua caliente. Una onza del producto con un galón de agua a  
120<sup>0</sup>F. Posterior enjuague con agua también caliente.

# RESPIRADOR DE FILTRO QUIMICO



APARATOS DE RESPIRACION MAS USADOS

Entre los aparatos de respiración de oxígeno más usados tenemos los siguientes:

- a.- El Aparato McCaa
- b.- El Aparato Chemox

Entre los aparatos de respiración con filtro químico, de mayor uso están:

- a.- La máscara All Service modelo S
- b.- La máscara Self Rescuer tipo 1447

**EL APARATO McCaa.**- Fué diseñado por el Ingeniero G.S.McCaa, y el Bureau de Minas de los Estados Unidos, después de numerosas pruebas lo dió por aprobado.

Provee al usuario el oxígeno necesario para toda actividad en ambientes saturados de gases durante el tiempo de 2 horas, es usado en salvataje y rescate.

Consta de cinco partes principales:

- 1.- Botella de oxígeno, con válvulas principales y de emergencia.
- 2.- Una válvula de reducción.
- 3.- Una bolsa de respiración.
- 4.- Una Mordaza.
- 5.- Una caja de purificación.

Todas las partes del sistema circulatorio, a excepción del espacio entre las válvulas de inhalación y de exhalación tienen presión positiva, de manera que cualquier pérdida será ha-

cia afuera, eliminando así la posibilidad de entrada de la atmósfera dentro del aparato.

Botella de Oxígeno.- De acero inoxidable, de capacidad de 1.8 a 1.9 litros se puede cargar oxígeno hasta la presión de 139.7 kgs/cm<sup>2</sup> o 135 Atmósferas, lo cual equivale a 243 litros de gas, suficiente para abastecer a un hombre por un tiempo mínimo de dos horas, desarrollando trabajo fuerte. Pesa cuatro kilos cuando está cargada.

Tiene un tapón de seguridad que se funde a los 94°C en caso de ser calentada, permitiendo el escape del gas sin ruptura de la botella.

Válvula reductora.- Su función es reducir la presión originalmente alta a otra que es ligeramente mayor a la normal para la respiración. Se cierra a la presión de 2.5 libras por pulgada cuadrada. Cuando ésta falla, al proporcionar la presión adecuada, hará accionar la válvula de seguridad y el pito. En esta situación debe cerrarse la válvula principal para usar la de emergencia y abastecerse de oxígeno para evacuar la zona. Abierta la válvula, el oxígeno pasa por el tubo enfriador, de aquí a la bolsa de respiración, de donde es tomado por el usuario, la válvula de seguridad opera a una presión de 7 libras por pulgada cuadrada, cuando se respira contra la resistencia indebida puede sentirse un dolor en el pecho o espalda durante muchos días.

Bolsa de Respiración.- Es el depósito del cual y al cual se respira es llevada en la espalda. Cuando es-

tá inflada tiene un compartimento de más o menos ocho litros. Es de una sola pieza sin costuras de un jebe durable y fuerte es impermeable a la acción de todos los gases y humo por un periodo mínimo de dos horas. Durante la inhalación la presión de la bolsa de respiración es aproximadamente  $1/4''$  y de  $1\ 1/2''$  cuando la exhalación es forzada.  $1/4$  de presión durante dos horas de trabajo fuerte no es notable por un hombre.

La parte superior de la bolsa está fijada a la parte superior del enfriador. El enfriador tiene un compartimento y una placa de desviación que se extiende en diagonal desde el purificador hasta el centro de enfriamiento, lo regula de tal manera que el aire exhalado que sale del regenerador, hace una circulación completa en el enfriador antes de salir por el tubo de inhalación.

En el centro del enfriador está fijada la válvula de admisión que ocupa la abertura de la bolsa de Respiración y el enfriador, proyectándose dentro de la bolsa de respiración. Esta válvula es una de las partes del sistema de abertura de la válvula reductora.

Mordaza.- Con el aparato McCaa el operador solo respira con la boca, teniendo las fosas nasales cerradas con un clip metálico.

Los tubos de jebe de inhalación y exhalación son flexibles y corrugados, pasan debajo del brazo izquierdo dejando los hombros libres para poder cargar materiales. Se encuentran fijados a la parte metálica de la mordaza y se conectan a o

tros tubos no flexibles más largos que van al enfriador y regenerador.

Durante el uso del aparato, la parte de jebe de la mordaza se fija fuertemente entre los labios y dientes y se ajustan a la cabeza por medio de las correas de la mordaza.

Cuando se inhala, la válvula de inhalación se abre y la de exhalación se cierra y cuando se exhala la válvula de inhalación se cierra obligando al aire a circular a través de la mordaza, por los tubos de respiración, enfriador y bolsa de respiración, siguiendo una sola dirección.

El salivero y la válvula de escape son adaptados de una manera que se pueda eliminar el exceso de presión, el nitrógeno y la saliva acumulada. Durante la operación de ésta válvula de escape, siempre se debe presionar el tubo de exhalación para cerrarlo y evitar que el aire exhalado vuelva al aparato y salga al exterior.

Caja de Purificación, Purificador y Regenerador.- Su misión es

absorber el

Anhidrido Carbónico del aire exhalado. Esta absorción y purificación es posible mediante el Cardoxide, que es una caja rectangular que tiene dos sedazos horizontales. No es desarmable y está construída en combinación con el enfriador en una sola pieza, eliminando así las conexiones y las posibilidades de pérdida. El calor del oxígeno purificado es disipado en el enfriador, para hacerlo más comfortable en las siguientes inhalaciones, pero a veces esto no es posible ya sea por la temperatura

de lugar o el trabajo fuerte desplegado.

El purificador esta convenientemente adaptado para un trabajo muy fuerte y continuo de cuatro horas lo cual debido al peso del aparato y el cansancio físico es imposible llegar. El Cardoxide aún durabun poco más que una botella de oxígeno su acción química de absorción de anhídrido carbónico será de golpe. No es posible notar ningún cambio aparente en el Cardoxide debido al uso. El efecto producido por tal cese de absorción es la inconciencia inmediata.

Otras Partes.- La máscara McCaa posee también un tubo de emergencia, un manómetro y una coraza metálica de aleación de aluminio.

El tubo de oxígeno de emergencia, suministra oxígeno independientemente de las válvulas principal, de reducción, de seguridad y de admisión. Uno de sus extremos está, fijado a la salida de la válvula de emergencia de la botella de oxígeno y el otro extremo a la parte inferior del enfriador. Se le usa cuando fallan una o más válvulas de las anteriormente señaladas, abriéndose su válvula momentaneamente. Si estas fallas ocurriesen en atmósferas peligrosas, se debe continuar operando la válvula de emergencia hasta regresar al aire fresco, para ajustar o reparar el aparato.

El Manómetro, está graduado en atmósferas, indica la presión de la botella de oxígeno y es llevado en una bolsa de cuero al frente del hombro derecho.

La Coraza Metálica de aleación de aluminio, prote

ge contra golpes, directos y caída de materiales, a la bolsa de respiración, enfriador, válvula de admisión y otras partes vitales del aparato, cuya falla por tales averías puede traer consecuencias fatales, finalmente debo decir que el aparato se ajusta al cuerpo de quien lo usa, por medio de un sistema de correas de cuero acolchado y ajustable a voluntad. El aparato completamente cargada pesa cerca de 17.7 kilos.

Forma de Operación de la Máscara McCaa.- El oxígeno que se halla en la botella, cargado a 135 atmósferas, pasa por la válvula de reducción, tipo fuelle donde la presión es reducida a 5 libras por pulgada cuadrada, de donde por un tubo de jebe pasa a un tubo metálica y a través de la válvula de admisión, el oxígeno es admitido conjuntamente a la bolsa de respiración y al enfriador, de donde es llevado por el tubo y válvula de inhalación a la mordaza, de aquí es tomado por el usuario. El aire exhalado atraviesa el tubo de exhalación por medio de la válvula de exhalación, entra por el fondo del purificador, en donde el Cardoxide absorbe el anhídrido carbónico, de aquí el oxígeno purificado, es devuelto al refrigerador o enfriador para continuar de nuevo el circuito.

Quando por razones indicadas anteriormente, se abre la válvula de emergencia, el oxígeno pasa por el tubo metálico al enfriador, luego a la bolsa de respiración, de donde es tomado por el usuario.

Mientras la válvula principal es abierta, el oxígeno entra al manómetro por un tubo metálico en espiral y es

en aquel donde se indica la presión del oxígeno.

El aparato McCaa podrá ser usado durante 15 horas en reposo y dos horas o más según el trabajo sea muy fuerte.

**Eliminación del Oxígeno acumulado.**- Los aparatos de respiración que usan oxígeno poseen generalmente 98 % de oxígeno y el 2 % restante de Nitrógeno. Este entra juntamente con el oxígeno a la bolsa de respiración y como se ha descrito, el nitrógeno no es absorbido por los pulmones, por tal motivo se acumulará siempre y cuando no se elimine por la válvula de escape.

#### APARATO "CHEMOX" AUTOGENERADOR

Es un aparato muy similar al McCaa, es fabricado por la Mine Safety Appliances Company de Estados Unidos de Norte América. Es del grupo de respiradores con abastecimiento propio de oxígeno, y es el único en su tipo que genera su propio oxígeno, es decir trabaja independientemente del aire exterior.

En el aparato hay un ciclo de respiración completo, que opera sin ayuda del aire exterior, mediante el empleo de un Canister reemplazable, que contiene una sustancia química, que en contacto con el aire exhalado genera el oxígeno, usado durante su operación, en cantidad suficiente y de acuerdo a las necesidades de la persona que usa la máscara. Proporciona protección respiratoria durante 45 minutos, en atmósferas altamente tóxicas y con insuficiencia de oxígeno.

Consta de las siguientes partes:

- 1.- Una careta antigás, con lentes extra-grandes de amplia superficie "All Vision", no empañable mediante una cortina de oxígeno seco en su parte interior, asegurando de esta manera una visión completamente clara. Los últimos modelos tienen careta con el nuevo diafragma Cleartone para transmisión clara de la voz, lo que facilita la comunicación entre los miembros de un grupo de operadores.
- 2.- Tubos de inhalación y exhalación conectados al Canister.
- 3.- Canister reemplazable, el que suministra al individuo suficiente oxígeno, haciendo que la inhalación sea libre y sin esfuerzo, aún bajo las condiciones más severas.
- 4.- Bolsa de respiración de Neopreno.
- 5.- Un instrumento regulador de tiempo, el cual acciona una alarma al concluirse un tiempo establecido de antemano, lo cual implica que el individuo debe regresar a la zona de aire fresco.
- 6.- Un cómodo arnés que proporciona facilidad de uso.

Principio de Operación.- El aire exhalado pasa de la careta a través de la válvula y tubo de exhalación hasta el Canister, donde es absorbido el anhídrido carbónico, reaccionando el contenido de humedad del aire exhalado con las sustancias químicas del canister, producto de esta reacción es el oxígeno, el mismo que fluye hacia arriba a través del Canister y después pasa a la bolsa de respiración donde se enfría y de aquí a través del tubo de inhalación a la careta.

La generación de oxígeno continua de acuerdo con el ritmo respiratorio, hasta que el canister cese de producir aquel elemento. Es en este momento que sonará una alarma, lo que indica que se debe abandonar el lugar irrespirable hacia uno normal.

Uso y Mantenimiento.- Se le usa para operar cerca a zonas de ai re fresco por la desventaja que el Canister genera poco oxígeno. En los Chemox no es necesario purgar manualmente el nitrógeno, desde que se produce más oxígeno que el que se consume. Este exceso de oxígeno puede resultar en una sobrepresión y alta resistencia, cuando se exhala. Si el exceso de presión no escapa automáticamente por los costados de la careta, aquella debe reducirse, presionando la válvula de escape situada al pie de la careta. Al reducir la presión debe ponerse especial cuidado de no eliminar gran cantidad de aire, por que sucedería que al inhalar se pueda encontrar con deficiencia de oxígeno para la respiración.

En caso de que el Canister se vá consumiendo, además del regulador de tiempo que posee, hay dos indicaciones que son: ennublamiento al inhalar de los lentes y resistencia a la exhalación. Estas indicaciones son posibles de notarse normalmente después de los 45 minutos de uso, aunque el Canister está construído para una duración de 50 a 60 minutos.

Debe tenerse en cuenta, no confundir el exceso de presión de la bolsa de respiración con la resistencia del Canister. Si hay exceso de presión de la Bolsa de Respiración,

aquella se elimina usando la válvula de escape y si después de esto, la resistencia a la inhalación o resistencia al Canister está aún presente, indica que éste está casi agotado. Si quien lo usa nota cualquiera de estos detalles, debe retornar inmediatamente a la zona de aire fresco.

El costo de mantenimiento es relativamente muy bajo, debido a la ausencia de partes móviles, líneas de alta presión, válvulas y uniones. El poco peso del aparato, 6 kilos, contribuye enormemente a facilitar su uso durante intervalos prolongados y lo cómodo del arnés proporciona gran libertad de movimientos y un ajuste perfecto al cuerpo del usuario.

Nunca debe volverse a usar un mismo Canister. Este una vez usado debe destruirse, para lo cual se le sumerge en agua, hasta que deje de burbujear, lo que indica que el oxígeno residual ha sido eliminado completamente, el agua se vuelve cáustica por lo tanto hay que tener precaución en su eliminación.

Los tubos y la Careta de respiración desconectados del aparato, deben ser lavados y desinfectados después de cada uso.

En caso de no usarse el aparato, debe guardarse en una caja; y los Canister deben ser almacenados en un lugar seco.

## MASCARA "ALL SERVICE" MODELO S

Producto de la Mine Safety Appliances Company, es un respirador del tipo químico. La máscara All Service modelo S completo, con Canister indicador de ventana, válvula de control exterior y diafragma Cleartone, es el último modelo desarrollado por la M.S.A. provee una protección extra contra el humo, ga ses venenosos incluyendo al monóxido de carbono.

Está provisto de lentes extra grandes para una me jor visión, tiene eb diafragma Cleartone MSA, para hablar, cong truido de tal manera que permita la comunicación en tonos naturales con los trabajadores cercanos e incluso para hablar por teléfono. Este diafragma es también exclusivo de la máscara All Service y fué aprobado por el Bureau de Minas de Estados Unidos tambien tiene bandas de jebe para la cabeza las que son ajustadas para cualquier tamaño.

El modelo S posee una válvula de control exterior roscada en ambos extremos para permitir su positiva y fácil co nección entre el Canister y el Tubo de Respiración. Protege al Canister contra la entrada del aire exhalado, proveyendo al mis mo tiempo un cierre efectivo contra la entrada de la humedad a la parte superior del Canister, ya sea durante el uso o cuando está guardada. Se cierra automáticamente después de la inhala ción sin consideración de la posición del Canister. Guarda al Canister contra la penetración de la humedad cuando la careta y el tubo estan siendo limpiados. Esta válvula está aprobada por el Bureau de Minas, para uso exclusivo con el nuevo All Ser

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA -83  
vice modelo S, con Canister de indicador de ventana en la forma  
manufacturada por la M.S.A.

Durante la operación los lentes no se empañan,  
debido a que el aire pasa seco del Canister a la careta. Este a  
parato no usa ganchos ni para la nariz ni la boca.

Principio de operación.- No sucede como en el caso de la máscara  
Chemox, en que la sustancia química del  
Canister, genera el oxígeno usado en la operación y absorbe el  
anhídrido carbónico producto del aire exhalado. En el presente  
caso el oxígeno necesario es tomado del medio ambiente o del me-  
dio en que se opera.

El aire inhalado pasa a través del Canister que  
contiene sustancias químicas que absorben o neutralizan los con-  
taminantes, de aquel es llevado por el tubo corrugado de jebe a  
la careta, llegando hasta el lente que cubre la cara, en estas  
condiciones, el aire está listo para ser tomado por los pulmones.  
El aire exhalado es eliminado de la careta por la válvula de ex-  
halación.

Uso y Limitaciones.- Esta máscara al igual que las otras que usan  
Canisters, tienen sus limitaciones de uso,  
debido a que no abastecen el oxígeno necesario para la vida, tam-  
bién solo pueden eliminar una cantidad relativamente pequeña de  
gases nocivos del aire y hacer a éste lo suficientemente sano pa-  
ra ser respirado.

No está demás indicar que jamás se debe usar la  
máscara All Service, en atmósferas deficientes de oxígeno, se de  
TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

ben usar en atmósferas que contengan como mínimo 16 % de oxígeno. En los casos de deficiencia de este elemento, se debe ingresar a estas zonas únicamente con aparatos de respiración de oxígeno completo.

Tampoco las máscaras All Service ofrecen protección en tanques cubiertos, en zonas cerradas tales como galerías, frontones o chimeneas sin ventilación, donde existe gran cantidad de gases venenosos y asfixiantes. Debido a esto la máscara All Service tiene sus limitaciones de uso en minas de carbón, en zonas donde arde la lámpara de seguridad, en minas metálicas donde arde un fósforo. Cuando los gases ácidos, vapores orgánicos y monóxido de carbono, no excedan del 2 % del volumen. En atmósferas que contienen amoniaco no más del 3 %. En humos, polvos y atmósferas cuyo total de gases tóxicos no excedan de 2%.

En el Canister a usarse, se tiene una lista de gases que pueden ser eliminados. Los Canister antes de ser usados deben ser preparados, con éste fin deben sacarse los sellos que posee en ambos extremos.

Los Canister tienen un tiempo determinado de uso, dos horas, con este fin de control de uso, la Máscara All Service tiene el Canister con indicador de ventana, que da al usuario una medida extra de seguridad. Los dos colores de paneles visibles a través de la ventana, indican al que usa, en cualquier momento la efectividad del Canister, en contra del monóxido de carbono.

El panel de la izquierda es el indicador T y es de un color obscuro. El panel de la derecha, marcado con

la letra R, es el de referencia y es de un color azul, más claro. Los Canister deben ser remplazados, cuando el color de cualquier porción de la sección indicadora se asemeja al color de la porción de la sección de referencia.

Nunca se debe usar un Canister en el que la sección indicadora se ponga de un color rosado o menos azul que la sección de referencia. Esta comparación de colores debe ser hecha bajo la luz del sol, pero durante el uso es casi imposible hacerse tal comparación, y hay que hacerla bajo la luz de las lámparas de batería. Esta luz acentúa el color azul de la sección indicadora, por lo que los Canister observados en estas condiciones deben ser eliminados del servicio, cuando la sección indicadora es todavía más azul que la sección de referencia.

La careta y la unión del Tubo de respiración deben ser limpiados y desinfectados, sin el Canister, después de cada uso, con el Cleaners Sanitizer MSA, de igual manera como se hace con los aparatos Chemox.

#### SELF RESCUER TÍPO1447

Es un respirador portátil de tipo de filtro químico, manufacturado por la Mine Safety Appliances Co. Da protección exclusiva contra el monóxido de carbono por un tiempo a proxímado de 30 minutos. No ofrese protección alguna en ambientes con deficiencia de oxígeno, ni contra gases calientes que generalmente se encuentran en zonas cercanas a incendios o explosiones.

Nunca debe usarse estos aparatos en remplazo de los de respiración por oxígeno completo, en zonas en las que el oxígeno es deficiente y su uso debe limitarse en casos de emergencia, para operaciones de rescate.

Dado su pequeño tamaño y poco peso, puede ser llevado en el bolsillo o en la cintura sujeto a la correa o en caso contrario ser almacenado en un lugar lo más accesible posible. De tal manera que en casos de emergencia pueda ser usado inmediatamente.

Para ser puesto en uso deben efectuarse las siguientes operaciones: sacar de la caja o recipiente que lo contenga, romper el sello del Canister levantando la palanca, presionar el embolo en el centro del Canister. En estas condiciones ya está listo para ser usado. Colocarse la mordaza en la boca y el clip en la nariz, ajustar el cordón al cuello si es necesario.

Modo de Operación.- La circulación del aire es la siguiente: el aire inhalado pasa por los agujeros que tiene para este fin, el mismo que pasa por el filtro de algodón, donde es eliminado el humo. Luego pasa por una capa de cloruro de calcio, el que absorbe el vapor de agua que siempre se encuentra en el aire. Esta absorción del agua es muy necesaria porque si no se reduciría la eficiencia del Hopcalite. Esta sustancia mezcla especialmente preparada de óxido de manganeso y cobre, actúa como catalizador, favorece la reacción del monóxido de carbono y el oxígeno del aire para producir Anhidrido carbónico. Finalmente de aquí, pasa a otra capa de cloruro de calcio y entra por

la mordaza a la boca de quien lo usa. El aire exhalado sale al exterior por la válvula de exhalación.

Precauciones.- Debe ser revisado para comprobar que sus sellos no han sido rotos, para lo cual basta una observación visual, que también debe indicar si no están flojos. Si así fuese se llegará a la conclusión de que el Canister no es hermético, lo cual va en contra de su principio esencial de construcción.

Sin antes de llegar al aire fresco jamás se debe quitar este respirador, todo debido a que el término de su uso es gradual. No debe ser usado por segunda vez a menos que los dos periodos de uso esten en los treinta (30) minutos después de romper el sello.

Es un aparato que debe ser usado por las cuadrillas de salvataje, solamente en el rescate de mineros afectados por el monóxido de carbono.

#### OBSERVACIONES PARA EL USO DE RESPIRADORES

- Los aparatos de respiración no proporcionan protección en atmósferas que contengan gases que puedan ser absorbidos por la piel, tampoco en el caso de existencia de polvos, vapores y nieblas que pueden ser absorbidos por el cuerpo a través de la piel, a menos que se tomen precauciones adicionales, como son el uso de vestimenta especial.
- No ofrecen protección en el caso de existencia de vapores de amonio o gasolina más que por unos quince minutos.

- No pueden ser usados a gran profundidad en agua ya que cuando la presión de aquella iguale o supere a la del interior del aparato, impedirá que el oxígeno llegue a los pulmones.
- No debe usarse en los lugares donde la presión ambiental es mayor que la atmosférica.
- Los respiradores de filtro químico, no deben usarse en los lugares que el porcentaje de anhídrido carbónico presente sea mayor de 2.5 %.

-----

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA

**CAPITULO V**  
**CONTROL DE POLVO Y GASES**  
**CON VENTILACION**

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

CONTROL DE POLVO Y GASES CON VENTILACION

**VENTILACION MECANICA CONTROLADA.**- Después del agua, la Ventilación Mecánica es la práctica de mejor eficacia, pues dispersa el polvo y diluye los gases como para hacerlos inofensivos a los trabajadores. Con el fin de lograr mejores resultados, deben incorporarse prácticas correctas de Ingeniería de Ventilación, todo lo cual presenta muchos problemas complejos y un entendimiento cabal del comportamiento del aire en el interior de la mina.

La Ventilación Mecánica Controlada involucra el empleo de ventiladores inyectores, extractores y auxiliares; reguladores de aire, puertas de ventilación, tubería flexible y la perforación de chimeneas y piques de ventilación.

En los diferentes países se ha promulgado legislación que estipula los requerimientos mínimos de aire, para la minería peruana subterránea, se consideran las siguientes cantidades, con respecto a las diferentes altitudes:

3.0	mts <sup>3</sup> /minuto	por	persona	entre	0 y 1500	msnm
4.2	"	"	"	"	1500 y 3000	"
5.1	"	"	"	"	3000 y 4000	"
6.0	"	"	"	"	más de 4000	"

Además se indica que el polvo en el aire, tenga una Concentración Máxima Permisible de 200 millones de partículas por metro cúbico.

ESTIMACION DE UNO O MAS SISTEMAS DE VENTILACION.- Según la extensión y los diferentes lugares a ventilarse, se puede planear un sistema único o varios sistemas independientes, para obtener una ventilación eficiente y evitar la recirculación del aire contaminado.

Para la determinación conveniente se debe hacer teniendo en cuenta, que el volumen de aire para galerías y cruces no deba fluir a una velocidad mayor a 250 metros por minuto, ni menor a 15 metros por minuto. Además hay que tener en cuenta que el aire al pasar por los diferentes lugares de una mina, se calienta, sufre alteraciones en su composición que harían imposible respirarlo, sin estar sometidos a diferentes riesgos.

ASPECTOS TEORICOS.- La Ventilación se define como el suministro de aire, por medios naturales o mecánicos a o de un espacio a otro. El objeto principal de la ventilación minera es la distribución racional de las corrientes de aire puro, sea aprovechando su movimiento natural o de medios mecánicos, a fin de:

- a.- Suministrar a los mineros aire limpio y fresco en cantidad suficiente para su normal respiración.
- b.- Reducir por dilución las concentraciones de los contaminantes del ambiente, a niveles tolerables. y
- c.- Regular las condiciones termo-ambientales manteniéndolas en un grado confortable.

**PROPIEDADES DEL MEDIO.**- Un elemento muy necesario en los cálculos de Ventilación, más aún teniendo en cuenta que las minas están localizadas a gran altitud, es el peso específico del aire. Usualmente se le denomina por la letra "w" y depende fundamentalmente de la presión barométrica y temperatura del ambiente:

$$w = \frac{1.327}{T} \frac{b}{1} \text{ en lbs/pie}^3 \quad (1)$$

donde: b = presión barométrica del lugar en pulgadas de mercurio.

T = Temperatura absoluta del aire ( $460 + ^\circ\text{F}$ ) en grados R.

Cuando se desconoce la presión barométrica, se puede calcular por la ecuación:

$$b = \frac{30}{(1.019)^{h/T}}$$

o en logaritmos:

$$\log.b = 1,477 - \frac{h}{122.4 T} \quad (2)$$

donde: h = altura del lugar en pies

Otro término importante es el factor de corrección (z) por altura:

$$z = \frac{w}{0.075} \quad (3)$$

Para condiciones estándar:  $w = 0.075$  libras/pie<sup>3</sup>

p = 29.9 pulgadas de mercurio.

**Propiedades de VENTILACION.**- Para toda corriente de aire se necesita una POTENCIA, que deba vencer

la RESISTENCIA debido a FRICCION y CHOQUES dentro de la mina; ello

hace circular un determinado FLUJO a una cierta VELOCIDAD, originando una CAIDA DE PRESION.

Resistencia.- Es el factor que se opone al paso de aire, depende de la superficie lateral de las labores, de su sección y del coeficiente de fricción.

$$R = \frac{KOL}{5.2 A^3} \quad (4)$$

donde: K = factor de fricción de la labor (TABLA # 1).

O = Perímetro de la sección, en pies.

L = Longitud del tramo considerado, en pies.

A = Sección de la labor, en pies cuadrados.

Caída de Presión.- Es la depresión originada por el paso del aire a través de las labores. Puede originarse por fricción o choque:

$$H = R Q^2 \quad (7)$$

$$H_s = X (Q/4000A)^2 \quad (8)$$

donde: H = flujo de aire, en pies cúbicos por minuto

$H_s$  = caída de presión por choque, en pulgadas de agua

X = factor de choque experimental, (TABLA # 1A)

Dado que la caída de presión por choque ( $H_s$ ) siempre resulta mínima, en relación a la caída de presión por fricción (H), y además esta caída se origina por cambios en: dirección, sección de pasos de aire y por cuerpos existentes en dichas vías de paso de aire. También se puede calcular por longitud equivalente de galerías o vías, la cual se adiciona a las longitudes reales de vías, estos valores están en la TABLA 1B.

TABLA 1

FACTOR DE FRICCION K

TIPO DE GALERIA	Valores de K x 10 <sup>10</sup> para aire de 0.075 lbs/pie <sup>3</sup>					
	RECTAS		LIGERAMENTE CURVAS		FUERTEMENTE CURVAS	
	Limpia	Algo Obs-truída	Limpia	Algo Obs-truída	Limpia	Algo Obs-truída
Caj. Lisas Min	10	25	20	35	35	50
" " Máx	20	35	30	45	45	60
Roca Sed. Min	30	45	40	55	55	70
" " Máx	70	85	80	95	95	110
Sostenim. Min	80	95	90	105	105	120
" " Máx	105	120	115	130	130	145
Roca ign. Min	90	105	100	115	115	130
" " Máx	195	210	205	220	220	235

Factor K hallado experimentalmente (Peele)

TABLA 1A

FACTOR DE CHOQUE.- Expresado en equivalencia con el factor de fricción. Primero se calcula la equivalencia en pies de longitud o en diámetros de la galería. Después el factor se traslada a equivalencia en K, según las siguientes ecuaciones:

$$\text{en pies} = \frac{3240}{K \times 10^{10}} \frac{A}{P} X \quad \text{en diámetros} = \frac{810}{K \times 10^{10}} X$$

$$\text{incremento para } K \times 10^{10} = 3240 \frac{A}{P} \frac{X}{L}$$

Ejemplo: para  $K \times 10^{10} = 20$ ,  $A/P = 1.5$  y  $X = 1$

en pies 243; en diámetros 40.5; incremento para  $K \times 10^{10}$  es 4.86  
(X=1 para 1000 pies)

TABLA 1 B

LARGOS EQUIVALENTES EN PIES PARA DIFERENTES FUENTES  
DE PERDIDAS POR CHOQUE O IMPACTO

FORMA	$L_e$	(Largo equivalente)
Curva obtusa redondeada	0.5	pies
Angulo recto redondeado	1	"
Curva aguda redondeada	3	"
Curva obtusa quebrada	15	"
Angulo recto quebrado	150	"
Curva aguda quebrada	150	"
Contracción gradual	1	"
Contracción abrupta	10	"
Expansión gradual	1	"
Expansión abrupta	20	"
Paso sobre nivel (Óptimo)	1	"
Paso sobre nivel (bueno)	65	"
Paso sobre nivel (malo)	290	"
Marco para puerta	70	"
Carro o Jaula 20 % área de la galería	100	"
Carro o Jaula 40 % área de la galería	500	"
Entrada	3	"
Descarga	65	"
BIFURCACION		
Derivación recta	60	"
Derivación a 90°	30	"
JUNTURAS		
Derivación recta	60	"
Derivación a 90°	30	"

Flujo de aire.- Es el volumen de aire que circula en la Unidad de tiempo, (Q):

$$Q = V \times A \quad (9)$$

donde: V = velocidad del aire en pies por minuto

A = Sección de la labor, en pies cuadrados

Potencia.- Es la potencia requerida para la circulación del aire (U):

$$U = \frac{HQ}{6350} \text{ en Hp} \quad (10)$$

En el calculo real de la potencia requerida para el funcionamiento del Ventilador, (HP), interviene la eficiencia:

$$HP = \frac{U}{\text{Eficiencia total}} \text{ en Hp} \quad (11)$$

REQUERIMIENTOS DE AIRE PARA DIFERENTES OPERACIONES.- Com hemos visto la cantidad de aire por persona, necesario a diferentes alturas sobre El nivel del mar, es la siguiente:

A nivel del mar hasta 1500 m.s.n.m.	106	pies <sup>3</sup> /min.	persona
de 1500 a 3000 m.s.n.m.	40% más	150	" " "
de 3000 a 4000 m.s.n.m.	70% "	180	" " "
de 4000 a más m.s.n.m.	100% "	212	" " "

La cantidad de aire para remover gases y polvos está en relación a la velocidad que debe dársele al aire y se considera: 50 pies cúbicos por pie cuadrado de sección.

En minas con gas propio o "gaseosas" debe variar de 200 a 300 pies cúbicos por minuto por persona.

Puede llegar a 500 pies cúbicos por minuto por persona, según las características de la mina y los trabajos a realizarse.

Se debe mantener la velocidad del aire, siempre por debajo de los 400 pies/minuto para no remover el polvo que se halla asentado en las superficies de las labores.

Para el funcionamiento de Locomotoras a gasolina o ptroleo diesel, se debe hacer circular de 75 a 150 pies cúbicos por minuto por cada Hp de potencia.

Para mantener un ambiente confortable, que en verano se considera de 19 a 24°C y en invierno de 17 a 22°C. En general el ambiente confortable se puede considerar entre 18 y 24° C, luego las velocidades del aire para lograr estas temperaturas, en función de la temperatura y la humedad relativa del aire se muestran en las TABLAS 2 y 2A, que son para obtener 24° C y 75% de humedad y 18° C y 75% de humedad respectivamente.

TABLA 2

T° del aire	Humedad Relativa								
°C	50	55	60	65	70	75	80	85	90
26	20	20	20	20	20	20	30	40	50
27	20	20	20	20	35	50	70	85	100
28	20	20	35	45	75	105	140	170	210
29	35	50	75	115	165	215	265	320	375
30	70	115	165	215	295	365	435	500	565
31	150	230	300	380	480	570	650	720	800

PARA OBTENER 24°C y 75% de Humedad relativa

TABLA 2A

T° del aire	Humedad Relativa								
°C	50	55	60	65	70	75	80	85	90
20	20	20	20	20	25	30	35	40	45
21	20	20	25	30	38	46	54	62	70
22	35	42	50	60	70	80	90	100	110
23	60	70	85	100	115	130	145	160	180
24	100	120	140	160	180	200	220	240	260
25	180	200	225	250	275	305	335	365	395
26	280	310	340	370	400	430	460	490	595
27	405	440	475	510	545	580	615	650	685
28	580	610	640	670	700	735	770	805	840
29	800	830	860	895	930	965	1000	1040	1070

**CARACTERISTICAS DE VENTILADORES.**- Según la ubicación de los ventiladores: aspirante (negativa) o impelente (positiva), esto respecto a la presión generada en el lugar a ventilarse.

Además puede ser ventilación General y Secundaria o parcial. Presentando una variante la Ventilación Auxiliar, empleada en labores ciegas como son frontones, piques, chimeneas o cruceros sin comunicar, se hace uso de ductos o mangas.

Los Ventiladores a elegirse pueden ser de dos tipos: Centrífugos o Axiales; las leyes que los rigen son las mismas, la diferencia está en las características de potencia, eficiencia y volumen.

En el siguiente CUADRO 1, se presenta las diferencias entre ambos tipos de Ventiladores:

CUADRO # 1

CENTRIFUGOS

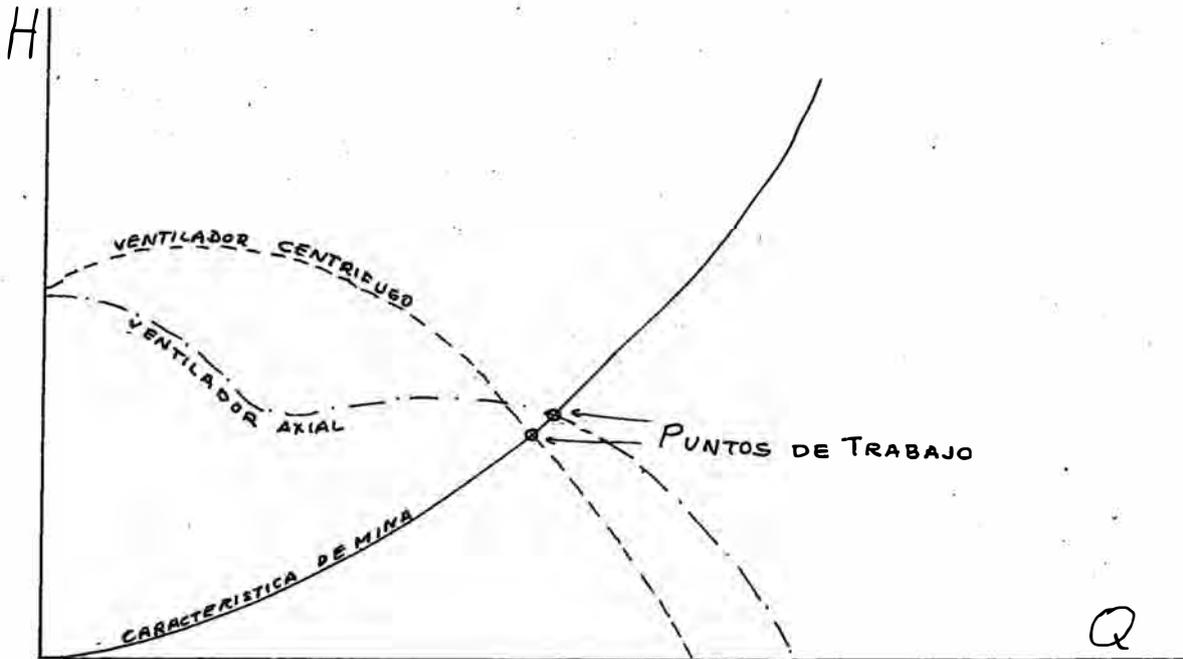
- Ofrecen la más alta presión estática.
- Ofrecen un flujo mediano.
- Su eficiencia varía entre 60 y 80 %
- Puede trabajar a altas velocidades.
- Son ventiladores que se pueden considerar "quietos" si se observa su curva característica.
- Producen menos ruido que los axiales.
- Son Ventiladores rígidos.
- Son más serviciales y más costosos.

AXIALES

- Presión estática media.
- Ofrecen el más alto flujo de aire.
- Eficiencia entre 70 y 85 %
- Son capaces de trabajar a las velocidades más altas.
- En su curva presentan una fuerte inflexión e inestabilidad.
- Producen los niveles de ruido más altos.
- Son más flexibles, manuales.
- Más baratos y compactos.

Para seleccionar el Ventilador necesario deben combinarse las curvas características del ventilador y Resistencias de la mina o lugar a ventilarse. Las curvas características

de los ventiladores no están dadas por ecuaciones vienen en gráficos y están definidos por un conjunto de puntos en coordenadas H y Q (Presión Estática, en pulgadas de agua y Flujo de Aire en pies cúbicos por minuto, respectivamente), que son proporcionadas por los fabricantes:



Los puntos de intersección de las curvas características de ventilador y mina, será el punto de trabajo, que queda definido por H y Q. La curva característica de mina es una sola e igual a  $H = R Q^2$  que es una parábola. Se debe buscar en los diferentes gráficos cual es el más recomendable a una velocidad (RPM) dadas. Hay que tener en cuenta que todos los cálculos son a nivel del mar.

Existen tres leyes que gobiernan el comportamiento de la presión estática, flujo de aire, potencia y eficiencia, cuando existen cambios en el peso específico del aire ( $w$ ), velocidad del ventilador ( $n$ ) RPM, y el diámetro ( $D$ ), según la

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

TABLA # 3

LEYES DE VENTILADORES

Variación de las características	Ley 1 Cambios en n D y w ctes.	Ley 2 Cambios en D w y n cts	Ley 3 Cambios en w n y D ctes.
Q	Directamente	Con el cua- drado	Constante
Ho Ht	Con el cua- drado	Constante	Directamente
Vo Hp	Con el cubo	Con el cua- drado	Directamente
eficiencia	Constante	Constante	Constante

Para el cálculo se debe usar una a una las leyes y los resultados, aplicarlos para los siguientes cálculos, de acuerdo a simples proporciones aritméticas.

**VENTILACION AUXILIAR.**- Como se ha dicho este tipo de ventilación usa ductos y puede ser aspirante, inyectante o combinada. Para la caída de presión se usa la fórmula (7)  $H = R Q^2$

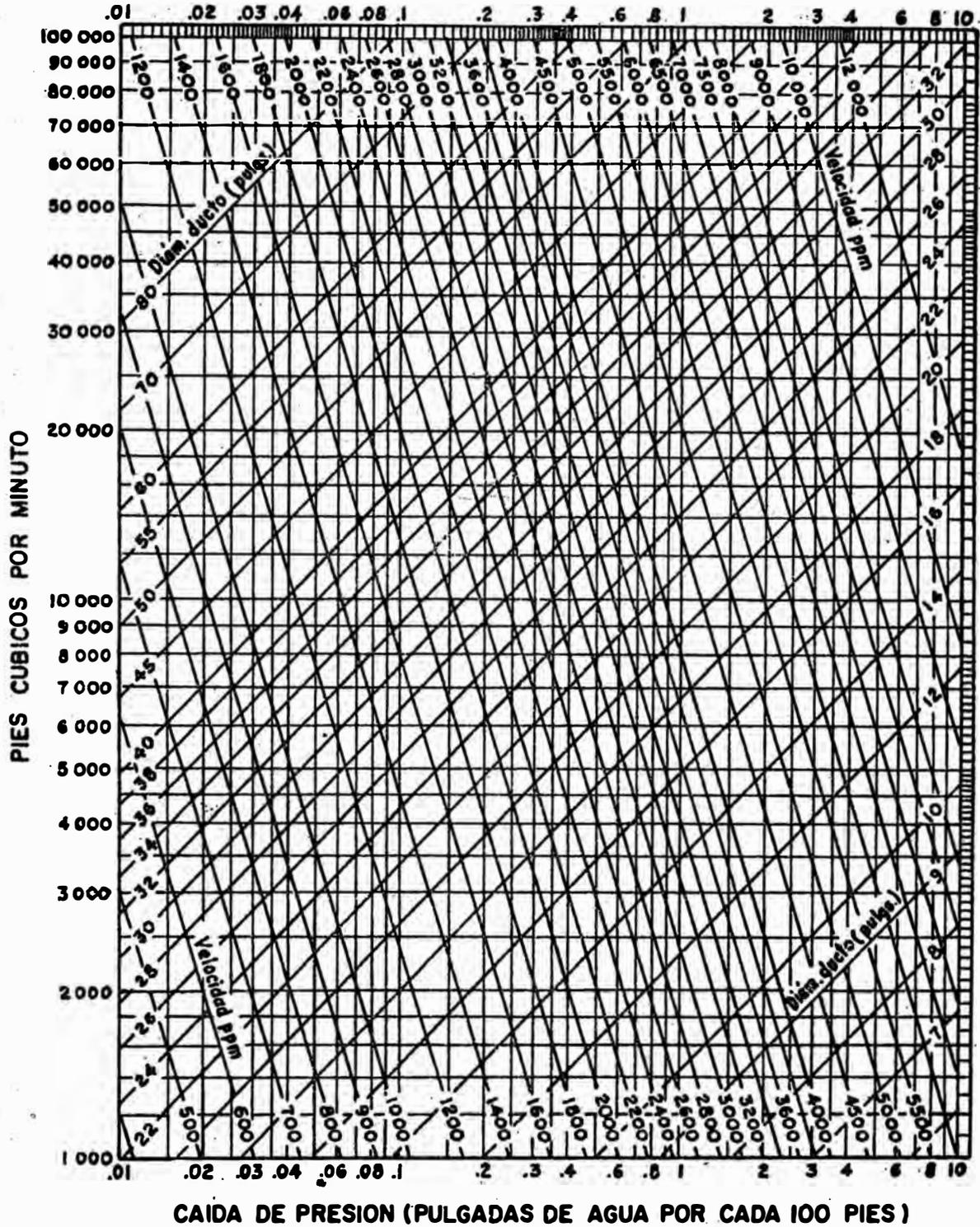
La TABLA # 4 muestra las caídas de presión en ductos metálicos por cada 100 pies de longitud y a condiciones estándar, para un volumen determinado y un diámetro del ducto calculado.

**Ductos de ventilación.**- Para elegir el diámetro del ducto se deben seguir los siguientes criterios:

a).- Los Ventiladores auxiliares para minas producen generalmente de 2 a 15 pulgadas de agua de presión estática, con po-

TABLA No. 4

**GRAFICO PARA EL CALCULO DE CAIDAS DE PRESION  
( PARA CONDICIONES ESTANDAR )**



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA 100  
tencia de 1.5 a 7.5 Hp, pudiendo llegar hasta 15 y 25 Hp.

- b).- Los diámetros del ducto pueden variar de 8 a 32 pulgadas, sin embargo es preferible que sean superiores a 12 pulgadas.
- c).- La relación de la sección de la labor a la sección del ducto varía entre 40:1 y 100:1.
- d).- La velocidad del aire en el ducto varía entre 2,500 y 6,000 pies por minuto, con un valor óptimo de 3,500 pies/minuto.
- e).- En el cálculo de caídas de presión, ya sea matemática o gráficamente, debe tenerse en cuenta el factor de corrección por altitud (z) formula (3).

En cuanto a los ductos mismos estos pueden ser flexibles o rígidos, dependiendo su empleo del lugar a ventilar, factores económicos y experiencia del Ingeniero.

Las Ventajas y desventajas de uno y otro tipo de ductos se presenta en el cuadro 2:

---

CUADRO 2

CUADRO COMPARATIVO ENTRE DUCTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

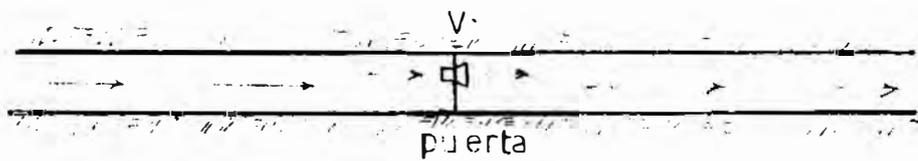
RIGIDOS	FLEXIBLES
- Se fabrican de acero, ojalata y rara vez de madera.	- Se fabrican de yute, nylon, polietileno, etc.
- Se puede emplear en ventilación positiva y negativa.	- Solo en ventilación positiva.
- Es más resistente.	- Es más debil.
- Tiene un factor de fricción del orden de $15 \times 10^{10}$	- Ofrece mayor resistencia al paso del aire $20 \times 10^{10}$

(continua)

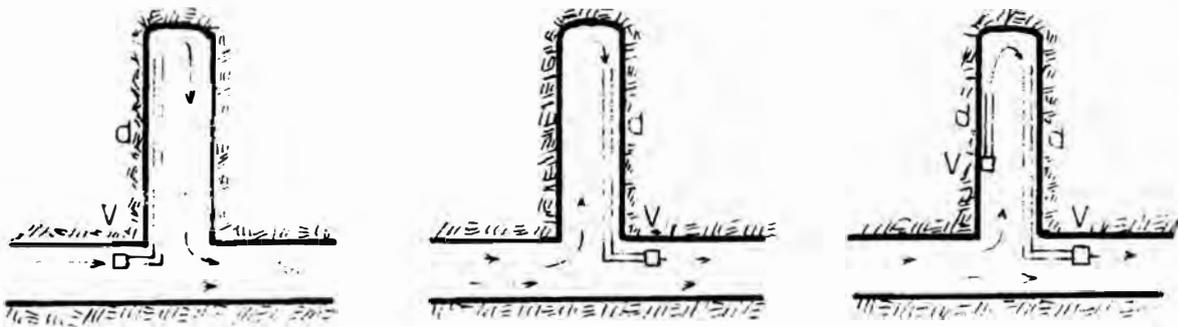
### VENTILACION PRIMARIA



### VENTILACION SECUNDARIA



### VENTILACION AUXILIAR



V = Ventilador

d = Ducto

→ = Sentido del aire

Rígidos	(continuación)	Flexibles
- Su costo es como 1 ó 2.		- Su costo es como 1.
- El costo de instalación es como 3.	- El costo de instalación es como 1.	
- El costo de mantenimiento como 1.	- El costo de mantenimiento como 3.	
- Se adquiere en longitudes de 6 a 20 pies.		- Las longitudes pueden ser hasta de 200 pies.

Es necesario mencionar que las fugas por juntas puede ser de 15 al 70 % del flujo total de aire, aunque usualmente las pérdidas son del orden del 20 %.

La Ventilación Auxiliar por aire comprimido es muy costosa y solo se debe usar en procesos pequeños para ventilación. La relación para producir 100 pies cúbicos de aire, en costos, por medio de aire comprimido y por ventilación con ventiladores auxiliares, es de 10:1 ; y con ventilación general de 40:1.

Además solo producen presiones estáticas de 5 pulgadas de agua como máximo y hasta 2,000 pies cúbicos por minuto, con eficiencia bastante baja, del 10 al 15 %.

Los inyectores de aire comprimido son de los tipos Venturi, Cónicos y Cilíndricos. Siendo el Venturi el más usado por su eficiencia. La presión de trabajo debe ser de 70 a 90 libras por pulgada cuadrada.

**Espesor del ducto.**- Para determinar el espesor (e) de los ductos a usarse, en cualquiera de los casos, existen las siguientes fórmulas:

En Ventilación Impelente:

$$e = \frac{p \times D}{2 \times W} \quad (12)$$

donde: e = espesor de la plancha en pulgadas.

p = presión interior en libras por pulgada cuadrada

D = diámetro del ducto en pulgadas.

W = esfuerzo de tracción en libras por pulgada cuadrada del material a usarse.

En Ventilación Aspirante:

$$e = R \sqrt[3]{\frac{4P}{E}} \quad (13)$$

donde: P = presión exterior que debe soportar el ducto

E = modulo de elasticidad del material

R = Radio del ducto en pulgadas

e = espesor del ducto en pulgadas.

**Gases de disparo.**- La cantidad de aire para limpiar o ventilar gases producto de disparos en labores o frentes con una sola entrada, está dada por la formula (14):

$$Q_g = \frac{A \times 60 \times a}{T} \quad (14)$$

donde:  $Q_g$  = cantidad de aire en pies cú. por minuto.

T = tiempo deseado para salida de gases en minutos

a = factor de seguridad que puede ser 2 ó 3 dependiendo del equipo de ventilación.

Como última consideración para ventilación auxiliar, es: la manga o ducto de ventilación por inyección debe terminar entre 12 a 15 metros del frente de avance, para obtener óptimos resultados en la eliminación del polvo de ventilación. El ducto de ventilación aspirante, debe estar a menor distancia, entre 7 y 10 metros, no debe usarse este método en minas de carbón por el peligro de explosión al paso del polvo por el sistema eléctrico del ventilador.

**MEDICIONES DE VENTILACION.**- Las mediciones de ventilación se reducen básicamente a determinar la velocidad del aire, sección, perímetro y longitud de labores, y algunas veces caídas de presión.

Para la Velocidad del aire se usa tubos de humo, anemómetros, velómetros, termoanemómetros y tubos de pitot, siendo los más empleados los tubos de humo y anemómetros, en velocidades lentas y rápidas respectivamente. El tubo de humo se basa en el desplazamiento de una nube de humo, entre dos puntos fijos de medición, se corrige con el factor 0.8 o 0.9 según la sección sea mayor. El anemómetro es un aparato provisto de paletas que giran a una velocidad de acuerdo a la velocidad del aire, se debe medir durante uno o dos minutos, y se corrige con el factor 0.8 y además con el factor de corrección dado por el fabricante.

La longitud, sección y perímetro se determina con cintas métricas o de pies.

La determinación de la Caída de Presión, se obtiene con microanemómetros, altímetros y algunas veces se obtiene teó

ricamente por la fórmula (7)  $H = RQ^2$ .

La humedad relativa se mide con el Psicrómetro de Witwatersrand, que consta de dos termómetros iguales, fijados a un cuadro, que puede ser girado mediante una manija. El bulbo de uno de ellos se envuelve con un paño húmedo, después de girar el psicrómetro durante uno o dos minutos, hasta que las indicaciones de los termómetros sean constantes. La humedad relativa se determina en base a diferencia de lecturas de los termómetros seco y húmedo utilizando la TABLA # 5.

TABLA # 5

Indicación del termómetro seco	Diferencia de temperaturas de los termómetros seco y húmedo en grados C								
	0	1	2	3	4	5	6	7	
0	100	81	63	46	28	12	-	-	
5	100	86	71	58	43	31	17	4	
6	100	86	72	59	46	33	21	8	
7	100	87	74	60	48	36	24	14	
8	100	87	74	62	50	39	27	16	
9	100	88	75	63	52	41	30	19	
10	100	88	77	64	53	43	32	22	
11	100	88	79	65	55	45	35	25	
12	100	89	79	67	57	47	37	27	
13	100	89	79	68	58	49	39	30	
14	100	89	79	69	59	50	41	32	
15	100	90	80	70	61	52	43	34	
16	100	90	80	70	61	53	45	37	
17	100	90	80	71	62	55	47	40	
18	100	90	80	72	63	55	48	41	
19	100	91	81	72	64	57	50	41	
20	100	91	81	73	65	58	50	42	
21	100	91	82	74	66	58	50	44	
22	100	91	82	74	66	58	51	45	
23	100	91	83	75	67	59	52	46	
24	100	91	83	75	67	59	53	47	
25	100	92	84	76	68	60	54	48	
26	100	92	84	76	69	62	55	50	
27	100	92	84	77	69	62	56	51	
28	100	92	84	77	70	64	57	52	
29	100	92	85	78	71	65	58	53	
30	100	92	85	79	72	66	59	53	

La temperatura del lugar se considera la del termómetro seco.

CONTROL DE SISTEMAS PARA MEJORAR EL AIRE AMBIENTAL

**DE ORDEN GENERAL.**- Se debe tener un laboratorio de Control de polvo y análisis químicos de gases, provistos de equipos de muestreo y colectores de gases. Instrumentos para hacer las mediciones de ventilación. Con esto se permite el muestreo del aire ambiental para determinar cantidad de polvos, diámetros, porcentajes de gases, velocidades de aire, etc. Emitiendo Informes inmediatos de resultados.

**DE INGENIERIA.**- Mediciones periódicas de la ventilación en puntos pre-establecidos, para determinar velocidades de aire, volúmenes, temperaturas, humedades relativas, presiones estáticas, etc.

También se debe confeccionar planos de Ventilación que indiquen velocidades y volúmenes de aire. Ubicación de las puertas de ventilación, distribuidores de aire, tapados, ventiladores y demás unidades de ventilación.

Recuentos periódicos de las concentraciones de polvo, en lugares establecidos. Estimaciones de gases en lugares de peligro, para fines comparativos y evaluar la efectividad de las medidas efectuadas.

Y finalmente entregar oportunamente la evaluación de los resultados con las recomendaciones para corregir las deficiencias que se hayan encontrado. A la vez se debe reunir toda información disponible respecto a la historia ocupacional de los hombres que trabajan en la Empresa, especialmente de aquellos expuestos a riesgos ocupacionales.

**FUNCIONES DEL INGENIERO DE SEGURIDAD EN MINERIA.**- El Ingeniero de Seguridad es el asesor general en materia de Seguridad en el trabajo. Actúa como emisor de medidas de seguridad, las propone para que sean aplicadas, según decisión de la Autoridad Responsable del Centro de Trabajo.

Las principales funciones del Ingeniero de Seguridad, se reducen en suma a suprimir toda clase de peligros y cabe citar entre sus deberes los siguientes:

- Formular y controlar la ejecución de la política general de la Empresa en materia de prevenir accidentes y enfermedades profesionales.
- Asesorar técnicamente a todo el personal supervisor.
- Investigar las causas de accidentes y determinar las causas de las enfermedades ocupacionales.
- Mantener Registros sobre accidentes y enfermedades profesionales.
- Supervisar la formación del personal de Seguridad e Higiene Industrial.
- Examinar las instalaciones, equipos, operaciones y métodos de trabajo de la Empresa.
- Organizar comités de prevención de accidentes y equipos de rescate.
- Dirigir las actividades en materia de difusión de seguridad tales como concursos, exposiciones y organización de la correspondiente propaganda,

- Establecer puestos permanentes de información colectiva, sobre riesgos de trabajo, capaces de vencer las distracciones emocionales pasajeras.
- Emplear el tino suficiente para las observaciones correctivas, y se hagan efectivas sin alterar la armonía del personal.
- Denunciar los riesgos ante los jefes respectivos, ejerciendo acción inmediata, en caso de riesgo inminente, tal como haría el jefe respectivo de esa dependencia.

-----

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA - FACULTAD DE MINERIA

**CAPITULO VI**

**APLICACION PRACTICA DE VENTILACION**

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

APLICACION PRACTICA DE VENTILACION

En este caso se va a considerar la Ventilación de la Galería Cero de la Mina Consuelo, propiedad de la Compañía de Minas Buenaventura S. A., que tiene las siguientes Características:

Longitud	800 metros	ó	2,660 pies de longitud
Sección	9 x 8 pies	ó	72 pies cuadrados
Altura sobre el nivel del mar	4,000 metros.		

En la cual se va a laborar en tres turnos continuados de ocho horas cada uno, por día. Al término de cada guardia se debe producir un disparo en el frente de avance. La cantidad de personal dadas las condiciones del medio ambiente es de 10 ( diez ) hombres por guardia de ocho horas. Se va a usar explosivo del tipo gelatina explosiva, suficiente para derribar 0.5 toneladas por kilogramo de explosivo. La roca es de dos tipos: Calizas intruídas por diques de andesita calcárea, que produce anhídrido carbónico en forma natural y continua, en los primeros 200 metros se ha logrado controlar el gas, gracias a un ventilador de 2,000 pies cúbicos por minuto, habiéndose presentado en el frente con el avance más bióxido de carbono lo que hace que no se pueda continuar el trabajo.

La temperatura presente es de 28 grados con una humedad relativa de 85 %. Se tiene instalaciones cercanas a la boca-mina, también se usa locomotoras a batería.

Con todos estos datos se debe proporcionar o con

TESIS DE GRADO DE: FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

seguir los siguientes objetivos:

- a.- Proporcionar a los trabajadores aire necesario para sus labores, sin reducir su capacidad vital.
- b.- Remover los gases de disparo en un tiempo máximo de 30 minutos.
- c.- Eliminar el gas anhídrido carbónico.
- d.- Eliminar el polvo producto de las operaciones propias de mina.

Todo esto se debe conseguir por medio de Ventilación.

### SOLUCION AL CASO EXPUESTO

En el presente caso, la Ventilación a elegir es del tipo Ventilación Auxiliar, osea aquella que además de un Ventilador Mecánico, hace uso de una manga o ducto de ventilación.

Dado que el frente de trabajo es el que debe ser mantenido primordialmente, con las propocisiones del caso, se vá ha usar ventilación Impelente, la cual es más efectiva en cuanto a dilución de gases del lugar de trabajo, que como se ha expresado es bióxido de carbono.

1.- Como primer paso se va a calcular el volumen máximo de aire necesario para completar los 800 metros de galería ( $Q_t$ ).

Para lo cual analizamos cada una de las condiciones:

a.- Para proporcionar aire al personal ( $Q_a$ ), de acuerdo al Código de Minería el volumen de aire necesario para un

hombre a 4,000 m.s.n.m. es 6.0 metros cúbicos o 212 pies

cúbicos por minuto, de lo que tendríamos:

$$Q_a = 10 \text{ hombres} \times 212 \text{ pies cúbicos}$$

$$\underline{Q_a = 2,120 \text{ pies cúbicos por minuto}} \quad (a)$$

b.- Para remover gases de explosivo en el tiempo máximo de 30 minutos, nos valemos de la fórmula (14), que expresa ( $Q_b$ ) volumen necesario de aire:

$$Q_b = \frac{A \times 60 \times a}{T}$$

los valores de cada término son:

$$A = 72 \text{ pies cuadrados o } 7.8 \text{ metros cuadrados}$$

$$a = 3 \text{ como factor de seguridad.}$$

$$T = 30 \text{ minutos}$$

reemplazados estos valores en (14) tenemos:

$$Q_b = \frac{7.8 \times 60 \times 3}{30}$$

$$\underline{Q_b = 1,350 \text{ pies cúbicos por minuto}} \quad (b)$$

c.- Considerando que las emanaciones de gas bióxido de carbono van a continuar en ritmo constante, podemos calcular el volumen ( $Q_c$ ) necesario para diluir este gas, de acuerdo a lo expuesto tendremos:

$$Q_c = 2,600 \times \frac{2,000}{610}$$

$$\underline{Q_c = 8,000 \text{ pies cúbicos por minuto}} \quad (c)$$

d.- Para remover polvos producto de las operaciones de barrenadura, remoción y otros se debe mantener una velocidad de 50 pies por minuto, lo que daría un volumen ( $Q_d$ ):

$$Q_d = 50 \times 72 \text{ pies cuadrados}$$

$$\underline{Q_d = 3,600 \text{ pies cúbicos por minuto}} \quad (d)$$

No habiendo otros factores por analizar, se puede observar que el volumen máximo necesario va a ser el  $Q_c$ , de donde

$$Q_t = 8,000 \text{ pies}^3/\text{minuto}$$

Este volumen es a 4,000 metros sobre el nivel del mar, que hay que transformarlos a un volumen ( $Q_v$ ) equivalente al nivel del mar y que va a ser el volumen de especificación del Ventilador necesario.

$$Q_v = Q_c \left( \frac{w_c}{w_a} \right)^{1/2}$$

donde  $w_c$  es el peso específico del aire a 4,000 msnm.

y  $w_a$  es el peso específico a condiciones normales.

$$w_c = \frac{1.327 \cdot b}{T}$$

para lo cual  $b = 18.6$  presión barométrica en libras/pulg<sup>2</sup>  
a 4,000 m.s.n.m.

reemplazando obtenemos: para una temperatura de 28°C

$$^{\circ}R = 546$$

de lo que se calcula:

$$w_a = 0.045$$

que llevadas a la formula de  $Q_v$  resulta:

$$Q_v = 8,000 \left( \frac{0.045}{0.075} \right)^{1/2}$$

$$Q_v = 6,160 \text{ pies}^3/\text{minuto} \quad (A)$$

2.- Cálculo de la Caída de Presión del ventilador a elegir ( $H_v$ ):

a.- Primero vamos a determinar la manga o ducto a usarse, de la cual obtendremos el Valor de la Caída de Presión ( $H_v$ )

Diámetro del ducto: como los valores de comparación del area de la galería y del ducto deben estar entre 40 y 100 a 1, vamos a calcular ambos casos:

$$\text{Sección máxima} = 1/40 \times 72 \text{ pies}^2 = 1.8 \text{ pies}^2$$

$$\underline{D_{\text{máx}}} = 18 \text{ pulgadas} \quad (D_{\text{máx}})$$

$$\text{Sección mínima} = 1/100 \times 72 \text{ pies}^2 = 0.72 \text{ pies}^2$$

$$\underline{D_{\text{min}}} = 11 \text{ pulgadas} \quad (D_{\text{min}})$$

La velocidad del aire en el ducto debe estar entre 2,500 y 6,000 pies por minuto, usando el ducto de 18" de diámetro, obtenemos una velocidad ( $V_a$ ):

$$V_a = \frac{8,000}{1.8}$$

$$\underline{V_a} = 4,400 \text{ pies por minuto} \quad (V_a)$$

Espesor del ducto, como el ducto a usar se es de fierro galvanizado, las características de este material son:

Esfuerzo de tracción = 12,000 libras por pulg<sup>2</sup>

La ecuación que dá el espesor de la manga o ducto, para Ventilación Impelente o positiva es (12):

$$e = \frac{p \cdot x \cdot D}{2 \cdot x \cdot y} \quad (12)$$

donde p = presión interior

D = diámetro en pulgadas

y = esfuerzo de tracción

reemplazando valores en (12) tenemos:

$$\underline{e_d = 0.000326"} \quad (e_d)$$

Indica que es un valor muy pequeño, de lo que se deduce que el grosor puede ser cualquiera, pero lo suficiente para soportar en buen estado todo el tiempo de trabajo que será cerca a un año, el valor de mayor uso para diámetro de 18 pulgadas es de 1/32 de pulgada.

b.- Con los valores obtenidos de diámetro de ducto y volumen de aire desplazable, a condiciones normales, se usa la TABLA # 4, que proporciona la Caída de Presión en ductos metálicos por cada 100 pies de recorrido; para el caso se debe buscar para un flujo  $Q_v = 6,160$  pies<sup>3</sup>/minuto y  $D_{máx} = 18$  pulgadas, lo que corresponde a una caída de 0.8 pulgadas de agua por cada cien metros. La caída total de Presión del ventilador ( $H_v$ ) está dada por la siguiente ecuación:

$$H_v = \text{Caída por cien metros} \times \frac{\text{longitud}}{100}$$

$$H_v = 2,600 \times 0.008$$

$$\underline{H_v = 20.8 \text{ pulgadas de agua}} \quad (B)$$

CARACTERISTICAS DEL VENTILADOR A ESCOGERSE.- El ventilador debe tener una Caída de Presión de 20.8 pulgadas de agua, con un flujo de 6,160 pies cúbicos por minuto, estos valores al nivel del mar. Que llevados a una alturavde 4,000 metros van a proporcionar los 8,000 pies cúbicos de aire por minuto necesarios para nuestro caso.

Además el ducto es de fierro galvanizado de 1/32 pulgadas de espesor por 18 pulgadas de ~~diámetro~~ diámetro. El Hp necesario para el ventilador es:

$$HP = \frac{U}{\text{Effic.}}$$

deducida de las fórmulas (10 y 11)

para un ventilador axial que es el elegido, su rendimiento es del 70 %, que ~~emplazado~~ emplazado en la fórmula anterior se obtiene:

$$HP = \frac{20.8 \times 6160}{6350 \times 0.70}$$

$$HP = 29 \text{ Hp aproximadamente } 30 \text{ Hp}$$

motor de 30 HP

#### RECOMENDACIONES PARA EL CASO PARTICULAR

Antes debo anotar que la solución numérica del problema tratado, no significa que tiene un caracter de exactitud en cuanto a resultados, debido a cambios fortuitos tanto en el desarrollo de las labores como en las consecuencias del clima y estaciones.

Lo que sí hay que señalar es que se debe tener un control en la conservación del equipo como la de analisis del

ambiente para hacer las rectificaciones que sean necesarias.

Dado que en la presencia de gas bióxido de carbono en forma de emanación natural a un ritmo sensiblemente constante, no indica que esto va a continuar igual ya que puede presentarse desprendimientos instantáneos, se debe tomar las medidas necesarias para no tener paralizaciones de avance y consecución de trabajos, ni arriesgar personal en caso de corto-circuitos en el sistema de ventilación. Las siguientes medidas pueden cubrir estos riesgos:

- a.- Confeccionar un plano de rocas con mayor producción de  $CO_2$  para lo cual se debe solicitar al departamento de Geología.
- b.- Hacer mediciones continuas de concentración de gas carbónico.
- c.- Hacer zondajes en el frente y en forma horizontal y oblicua de una extensión mínima de 10 metros, para evaluar las emanaciones del mismo en el taladro.
- d.- En el momento del disparo se debe retirar al personal completamente y periódicamente evaluar el aire expelido después de los disparos.
- e.- Tener equipos de auto respiración de oxígeno para casos de emergencia, para acudir en el rescate de personal víctima del gas.
- f.- Entrenar al personal encargado de este trabajo, en el uso de los equipos de respiración de oxígeno.
- g.- Entrenar al personal para aplicación de respiración artificial a víctimas del bióxido de carbono.

CAPITULO VII

**VENTAJAS DE MEJORAR EL MEDIO AMBIENTE.**- Es claro que todo esfuerzo por mantener una ventilación y control de polvo y gases adecuada, demanda una inversión, pero es una forma indirecta de obtener mayores economías, dado que lo contrario recae en una serie de contratiempos en el normal desarrollo de las actividades mineras, especialmente en el rendimiento hombre-guardia y todos los problemas generados por un grupo de hombres incapacitados que deben ser protegidos por la Empresa. Es fácil de darse cuenta del grave problema a que se enfrenta una gerencia cuando debe encarar todas o algunas de las siguientes alternativas:

- a.- Compensación de los hombres incapacitados.
- b.- Transferencia obligatoria de los hombres expuestos a otras faenas sin riesgo.
- c.- Encontrar en superficie trabajo continuo para uno o varios hombres por año y volverlos a entrenar para que puedan desempeñarse con eficiencia en otras ocupaciones.
- d.- Apresuramiento en el entrenamiento del personal nuevo para labores subterráneas sin entorpecer la eficiencia del trabajo.
- e.- Moral disminuída entre los obreros debido a los riesgos que existen para su salud.
- f.- Desfavorables relaciones públicas e industriales.
- g.- Repercusiones previsibles en la promulgación de una legislación más estricta.

Todo esto significa mucho dinero y en muchos casos significa para la Empresa la diferencia entre ganancias y pérdidas.

TESIS DE GRADO DE FERNANDO BRAULIO MELO SALINAS - PIM 1966

didat. La Administración moderna de Empresas se ha dado cuenta de la gran importancia del problema y su aplicación proporcionará me jor seguridad en sus operaciones y en el desembolvimiento laboral de sus representadas.

-----

### CONCLUSIONES

- 1.- Se debe mantener lugares exentos de polvo y gases, en las minas para un mejor desembolvimiento en sus labores el personal.
- 2.- El polvo con contenido de sílice libre, produce la silicosis que es una enfermedad que por el momento no tiene cura médica.
- 3.- El peligro para contraer silicosis varía con la Concentración de polvo, tiempo de exposición, Naturaleza del individuo y grado de sílice libre.
- 4.- El uso de agua en la perforación no debe descuidarse, ya que es uno de los métodos más efectivos en la eliminación de polvo, en especial aquellos de tamaño respirable.
- 5.- La utilización de neblinadores o atomizadores de agua se debe usar para el control de polvo, donde no se pueda lograr resultados efectivos con la ventilación.
- 5.- El mineral antes de ser removido, debe ser humedecido para evitarla dispersión de polvo contenido en éste.
- 7.- Los gases de disparo y de mina deben ser diluídos al máximo permisible, especialmente los gases nitrosos que son los más frecuentes.
- 8.- El uso de respiradores de polvo debe ser en lo posible eliminado, ya que perjudican en el mejor desempeño de los trabajadores, eliminan su eficacia y son de alto costo de mantenimiento.
- 9.- El uso de Lámparas de Seguridad debe extenderse en forma continua en los lugares que se considera el aire enrarecido en su contenido de oxígeno, por haber sido desplazado.

- 10.- El empleo de respiradores de gases debe ser bien seleccionado, para evitar su uso en lugares donde no puedan cumplir su función.
- 11.- El personal que usa aparatos de respiración debe ser entre-nado convenientemente para evitar accidentes por ignorancia en su uso.
- 12.- Las cuadrillas de salvataje y rescate deben formarse con per-sonal físicamente más apto, con entrenamientos regulares y en condiciones analogas a siniestros y ambientes gaseados.
- 13.- Nunca debe intentarse reparaciones del equipo de respiración en los lugares donde se esta actuando, se deben trasladar a lugares de aire fresco.
- 14.- El personal de las cuadrillas debe conocer los efectos de los gases, defectarlos y tratar a personas afectadas.
- 15.- El tratamiento de personas afectadas debe ser inmediato y en lugares de aire fresco, con observación médica si es preciso.
- 16.- Los gases en concentraciones considerables y en tiempos varia-bles pueden causar la muerte.
- 17.- En general todas las minas deben tener una ventilación ntal que lleve aire fresco a todos los lugares activos y de trabajo. Los sectores inactivos tienen que cerrarse o taponarse.
- 18.- Las corrientes principales de aire de salida y de aire de en-trada de las minas deben circular por diferentes conductos o galerías.
- 19.- Los niveles de ventilación han de mantenerse siempre despejados para permitir el libre paso del aire; este requisito in-cluye a los niveles no utilizados para el transporte, como

... para los que sirven para el tránsito del personal.

- 20.- Los niveles de extracción así como el flujo de ventilación, los niveles intermedios de acarreo y los niveles principales deben hallarse en el aire de entrada.
- 21.- Las corrientes de ventilación han de regularse por medios mecánicos; esto es de gran importancia en lugares del interior de la mina en que prevalezcan riesgos de incendio.
- 22.- Hay que instalar ventilación mecánica para mantener las condiciones siguientes:
  - a.- Un mínimo de 20 % de oxígeno.
  - b.- No más de 0.5 % de anhídrido carbónico.
  - c.- Ninguna cantidad de gases o polvo tóxico.
  - d.- Una velocidad de 100 pies por minuto donde la humedad relativa sea de 85 % y la temperatura del termómetro seco sea de 75 a 85°F ( 23.89 a 29.44°C ).
  - e.- Una velocidad de 400 pies por minuto donde la humedad relativa sea mayor a 85 % y la temperatura del termómetro seco sea superior a 85°F (29.44°C).
- 23.- Después de los disparos hay que mantener en los lugares de trabajo una velocidad del aire de, cuando menos, 30 pies por minuto; si esto no fuese factible hay que disponer un desplazamiento de aire suficiente para diluir o arrastrar los vapores del disparo con la menor demora posible.
- 24.- Los ventiladores principales deben instalarse de preferencia en el exterior; sin embargo en las minas metálicas no siempre esto es posible.

25.- Los ventiladores principales deben:

- a.- Estar colocados de manera que el aire de retorno de la mina no pueda ser arrastrado por succión del mismo.
- b.- Estar instalados de manera que permita una pronta inversión del sentido de circulación.
- c.- Estar instalados en una caseta incombustible. Si las instalaciones existentes no se ajustan a este requisito hay que hacerlas resistentes al fuego.
- d.- Estar apartados de toda alineación directa con los trabajos de la mina, la distancia a que deben apartarse debe ser de cuando menos de 25 pies (7,62 m).
- e.- Estar provistos de un manómetro registrador de presión o de un manómetros de agua.
- f.- Inspeccionarlos a diario.
- g.- Mantenerlos libres de ma terias combustibles, que deberan estar cuando menos a una distancia de 100 pies (30.48 m) a la redonda.

26.- Hay que instalar ventiladores de ayuda en el interior de la mina, para impedir la recirculación del aire.

27.- El volumen de aire de entrada que pase por cualquier instalación de ventiladores auxiliares del interior de mina a de ser cuando menos de 1 1/2 veces el volumen de aire hecho circular en el ventilador impelente.

28.- Donde se instalen puertas para dirigir el curso de aire, las mismas deben:

a.- Cerrarse automáticamente.

b.- Estar instaladas de manera que abran hacia el lado de la

menor obstrucción del paso.

c.- Estas instaladas de manera que permanezcan cerradas aunque se invierta la corriente de aire en caso de cualquier contingencia fortuita.

29.- Los cambios de ventilación que puedan afectar la seguridad de los hombres, deberá hacerse cuando la mina esté parada y no haya ningún minero en el interior, más que los dedicados a cambiar la ventilación

30.- En todas las zonas confinadas tendrá que hacerse uno o más tapones provistos con un tubo o válvula que permita tomar muestras del aire detrás del tapón, y que al mismo tiempo sirva para medir la presión hidrostática allí presente.

31.- Todos los mineros deben conocer las disposiciones del Cuerpo de Ingenieros para salvaguardarlos en caso de emergencias.

BIBLIOGRAFIA

- |   |   |
|---|---|
| Julio Flores C.   | Curso de Seguridad Minera   |
| George J. Young   | Elementos de Minería  |
| Robert Peele  | Mining Engineers Handbook   |
| Manuel Llosa P.   | Curso de explotación de Minas   |
| E. P. Treadwell   | Tratado de Química Analítica  |
| Consejo Interamericano<br>de Seguridad                          | El Supervisor de Seguridad  |
| Alejandro Novitzky  | Ventilación de Minas  |
| H.J.Bunt; J.R.Metcalf<br>B.R.Pursall; A.Roberts<br>F.T.Williams | Mine Ventilation  |
| Amado Yataco Medina   | Exposición al contaminante Sílice Libre<br>Boletín O.S.P. 1967  |
| Walter Koch   | Cursillo sobre Seguridad e Higiene In-<br>dustrial - Revista I.S.O. 1968  |
| Howard L. Hartman   | Mine Ventilation and Air Conditioning   |
| Anibal Gastañaga Coll<br>Amado Yataco Medina                    | Control del Contaminante Polvo en Minas<br>y Plantas Concentradoras   |
| Luis Paretto O.   | Instrumentos para evaluar agentes ambien-<br>tales que causan Enfermedad Profecional<br>ler Seminario de Salud Ocupacional 1958 |
| Instituto de Salud<br>Ocupacional                               | Exámenes Radiológicos a Trabajadores Mi-<br>neros   |
| Amado Yataco Medina   | Algunas Notas Sobre Prevención de Sili-<br>cosis en el Perú   |
| Mine Safety Appliances Co.                                      | Catalog of Safety Equipment for the Mi-<br>ning Industries  |
| Yender Herdenson y<br>Howard W. Haggard                         | Noxious Gases   |

Primer Congreso de Salud  
Ocupacional

Control de la Silicosis en la Minería  
Sud Americana

Bureau of Mines

Explosiones e Incendios en Minas de  
Carbón Bituminoso

Bureau of Mines

Incendios, Gases y Ventilación en Mi-  
nas Metálicas y No-Metálicas

Circular para Mineros  
Número 33

Gases en las Minas y Métodos para  
Identificarlos

Circular para Mineros  
Número 57

Riesgos para la Salud y Riesgos diver-  
sos en las Minas Metálicas y No-Metáli-  
cas

Ce. S. I. del Perú

Curso de Ventilación de Minas

Código de Minería

Ministerio de Fomento