

LA INTOXICACIÓN POR EL ÓXIDO DE CARBONO

Medios de evitarla y combatirla

POR

Juan Sánchez Arboledas

Ingeniero de Minas

Director de la Fábrica de Sagunto
de la Compañía Siderúrgica del Mediterráneo.

PRIMERA EDICIÓN



M A D R I D
IMPRENTA, JUAN BRAVO, 3
1933

La intoxicación por el óxido de carbono

Medios de evitarla y combatirla

LA INTOXICACIÓN POR EL ÓXIDO DE CARBONO

Medios de evitarla y combatirla

POR

Juan Sánchez Arboledas

Ingeniero de Minas

Director de la Fábrica de Sagunto
de la Compañía Siderúrgica del Mediterráneo.

PRIMERA EDICIÓN



M A D R I D
IMPRENTA, JUAN BRAVO, 3
1933

**Es propiedad del Autor.
Queda hecho el registro
que marca la ley.**

A MODO DE PROLOGO

Siempre ha constituido para mí una verdadera pesadilla la divulgación de los peligros que supone la presencia del óxido de carbono en el aire, y buena prueba de ello es que cuantas veces me ha sido posible no sólo he insistido sobre ellos, sino también sobre los medios de protección de que disponemos.

Empecé por escribir una serie de artículos publicados en la *Revista Minera, Metalúrgica y de Ingeniería*, reunidos después en el folleto, ya agotado, titulado *El óxido de carbono en las minas*. Consagré después al mismo asunto dos capítulos de mi libro *Incendios y fuegos subterráneos*; y también en el folleto *Cerramiento de una zona de fuegos* dedico algún espacio al mismo tema.

El haberse agotado el folleto titulado *El óxido de carbono en las minas* me ha movido a publicar este trabajo, al que aquél sirve de base, y en el que hago una ligera exposición de los adelantos logrados desde 1922 hasta la fecha.

Es, en efecto, el óxido de carbono el enemigo más traidor del minero de carbón, que pone fuera de combate al personal cuando es más necesario que multiplique sus esfuerzos.

A nadie que las haya presenciado se le

podrá borrar el recuerdo de las escenas tan emocionantes, tan profundamente dramáticas, que se desarrollan cuando es indispensable trabajar en atmósferas en que existe óxido de carbono: al que antes era el más animoso lo veréis salir con paso vacilante del frente de trabajo; aquel que antes contaba chasca-rillos, animando a sus compañeros en estos momentos de peligro, en que las condiciones de lugar aumentan aún más la grandiosidad de la lucha, resulta víctima de horrible congoja; a otro lo encontraréis sufriendo las más horribles náuseas, y a muchísimos, más o menos temblones a causa de frecuentes escalofríos; pero todos guardan un religioso silencio y siguen atentos a la faena de los del frente, espiondo temerosos cuanto ocurra, para acudir en su auxilio tan pronto como el equipo de enlace lo reclame.

Hoy, y gracias al progreso de la ingeniería, estas escenas no deben presenciarse en explotaciones medianamente equipadas, y, a semejanza del antiguo *penitente* de las minas de carbón, su recuerdo sólo debe servir para que apreciemos los adelantos que la ciencia aporta.

Y no creemos esté muy lejano el día en que cada obrero, al descender a la mina, sea portador de un sencillo aparato que le permita defenderse de los peligros del óxido de carbono.

CAPITULO PRIMERO

Presencia del óxido de carbono en la atmósfera de las minas.

El óxido de carbono, cuya fórmula química es CO, es producto de la combustión incompleta del carbono, y su formación tiene lugar al quemar el carbono o las sustancias que lo contienen (carbón, grisú, madera, etc.) en atmósferas en que la proporción de oxígeno sea insuficiente para que todo el carbono se transforme en ácido carbónico.

La presencia de dicho gas en la atmósfera de las minas se debe a las causas siguientes:

1.ª Oxidación del carbón y otras materias carbonosas;

2.ª Empleo de los explosivos;

3.ª Combustión espontánea del carbón y fuegos subterráneos;

4.ª Explosiones de grisú y polvo de carbón;

5.ª Empleo de motores de combustión interna, y

6.ª Compresores de aire.

En una palabra, la presencia del óxido de carbono se debe principalmente a dos causas,

que, en realidad, son una sola: los fenómenos de oxidación, bien se deban a la absorción del oxígeno del aire por el carbón o a las diferentes combustiones u oxidaciones que constantemente tienen lugar en las labores.

Examinemos detalladamente cada uno de los seis manantiales de óxido de carbono que acabamos de enumerar.

1.º *Oxidación del carbón y otras materias carbonosas.*—Las experiencias de Graham (1) han demostrado que el óxido de carbono es un componente normal, aunque en proporción muy pequeña, de la corriente de retorno de aire en las minas de más de 450 metros de profundidad. Dicho investigador comprobó que en condiciones normales, y en ausencia de combustiones espontáneas, el óxido de carbono existe invariablemente en la corriente de retorno en proporciones variables del 0,3 al 1,5 por 100 del oxígeno absorbido.

Este óxido de carbono es producido por la oxidación del carbón y otras materias carbonosas en los frentes de trabajo, en las galerías y macizos, así como en los viejos trabajos, pudiéndose afirmar, de un modo general, que el porcentaje de óxido de carbono procedente de las labores viejas y de los macizos antiguos mal explotados supera al

(1) *Transactions of The Institution of Mining Engineers*, vol. LX, pág. 222.

producido por la oxidación del carbón en los tajos en explotación.

Sin embargo, la proporción de óxido de carbono debida a esta causa es inofensiva, ya que la mayor cantidad encontrada por Graham ha sido de 0,0095 por 100.

El fenómeno de la oxidación del carbón (1) no es sino imperfectamente conocido, puesto que se ignoran las reacciones químicas que tienen lugar entre el oxígeno del aire y los componentes del carbón, lo cual no es de extrañar, toda vez que empezamos por desconocer la composición de este último, conglomerado sumamente complejo.

Se ha llegado a apreciar con toda exactitud la relación de oxidación de una muestra de carbón sin que, en nuestra ignorancia sobre su composición, podamos fijar qué parte de la masa está siendo atacada.

Las reacciones que tienen lugar entre el oxígeno y el carbón son esencialmente reacciones de superficie; pertenecen a la categoría de reacciones químicas, que, teniendo lugar entre una fase gaseosa, de un lado, y una fase sólida, de otro, el gas se concentra sobre la superficie del sólido (absorción), reaccionando después. Así se explica la influencia de la textura física del carbón en el

(1) SÁNCHEZ ARBOLEDAS, *Incendios y fuegos subterráneos*, páginas 16 a 30.

fenómeno de la oxidación, razón por la cual el carbón poroso se oxida más fácilmente a causa de su mayor superficie de contacto con el aire.

Suponen algunos investigadores que el oxígeno empieza por combinarse con las moléculas que contienen mayor número de átomos de carbono, las cuales sufren después una disociación, viniendo a combinarse con otros grupos atómicos existentes en el conglomerado carbonoso.

Para nosotros (1) los carbones contienen oxidasas, y por esto, tan pronto como se ponen en contacto con el aire, comienza la oxidación, pero la acción de las oxidasas no determinaría la combustión espontánea, puesto que su destrucción tendría lugar antes que el carbón alcanzase la temperatura crítica; en cambio, la elevación de temperatura inicial por ellas determinada puede hacer entrar en reacción compuestos oxidables existentes en el carbón y que sin dicha ayuda acaso hubiesen permanecido inactivos. Ejemplo: el caso de la vitreína y duraina, que son los componentes más oxidables a la temperatura de 65° a que puede llevarlos la fuseína, muy oxidable a baja temperatura.

Sin embargo, y dado el objeto de nuestro

(1) SÁNCHEZ ARPOLEDAS, *Algunas ideas sobre la génesis de los carbones*, páginas 53 y siguientes.

libro, vamos a pasar por alto las distintas explicaciones dadas del fenómeno de la oxidación del carbón y a limitarnos a exponer los resultados de los estudios experimentales hasta ahora efectuados, y que permiten establecer lo siguiente:

1.º Que la absorción de oxígeno por el carbón es al principio muy rápida, aun a la temperatura ordinaria, y va generalmente seguida de una lenta pero continua absorción.

2.º Que durante la primera fase, de oxidación a baja temperatura, o sea durante la rápida e inicial absorción de oxígeno, no tiene lugar, como hasta ahora se creía, la producción de vapor de agua ni óxidos de carbono; pero que durante la segunda fase, de oxidación lenta, se forman dichos compuestos en proporción tanto mayor cuanto más elevada es la temperatura del carbón.

3.º Que la relación del anhídrido carbónico al óxido de carbono desprendido durante la segunda fase es constante, para un carbón dado, en tanto que la temperatura no varíe, disminuyendo el valor de dicha relación a medida que la temperatura aumenta.

4.º En el tercer período de oxidación, cuando la temperatura de la masa está comprendida entre 120 y 140º, se queman ciertos elementos constituyentes de la hulla, desprendiéndose los óxidos de carbono y vapor de agua.

Afortunadamente, y como ha demostrado Graham, las proporciones de CO incorporadas como consecuencia del fenómeno de la oxidación a la atmósfera de la mina son inofensivas.

2.º *Empleo de los explosivos.*—Va acompañado de la producción de gases cuya naturaleza depende de la composición del explosivo y de su descomposición más o menos completa.

Dichos productos son ácido carbónico, vapor de agua, óxido de carbono, hidrógeno, metano, nitrógeno y a veces vapores nitrosos. También pueden originarse pequeñas cantidades de amoníaco y cianuros, y los explosivos en cuya composición entre el azufre o algunos de sus compuestos pueden dar lugar a la formación de hidrógeno sulfurado o de gas sulfuroso.

Como entre dichos gases figuran algunos que, como el óxido de carbono, gas sulfúrico y vapores nitrosos, son muy venenosos, se comprende la necesidad de ventilar bien los tajos antes de penetrar en ellos después de una pega de barrenos, con el fin de evitar sensibles accidentes.

Según las investigaciones de Jones y Perrott (1), los productos de la explosión depen-

(1) Technical Publication núm. 102, Bureau of Mines.

den principalmente de los factores siguientes:

- a) Contenido de oxígeno del explosivo;
- b) Atacado de la carga;
- c) Combustión secundaria de los productos de la explosión;
- d) Velocidad de enfriamiento de los mismos;
- e) Naturaleza de la roca en contacto con la carga; y
- f) Reacción entre los residuos sólidos del explosivo y los productos de la explosión.

Sabido es que el equivalente en oxígeno del explosivo es la proporción que de dicho elemento debe contener la carga para que todo su carbono e hidrógeno, así como el de su envolvente, se transformen en ácido carbónico y vapor de agua. Los explosivos cuyo contenido de oxígeno es inferior al equivalente dan lugar a la formación de grandes volúmenes de óxido de carbono (12 a 24 litros por cada 100 gramos de carga) e hidrógeno (4 a 19 litros por 100 gramos de explosivo). En cambio, aquellos explosivos que contengan el equivalente en oxígeno o una proporción superior al mismo, no dan más que un litro de óxido de carbono por cada 100 gramos de carga.

El volumen de ácido carbónico varía de 14 a 24 litros para 100 gramos de carga, siendo tanto mayor cuanto más se aproxima al equi-

valente en oxígeno el contenido de éste en el explosivo.

Cuando no se han quemado todos los productos combustibles durante la detonación, puede tener lugar su combustión al ponerse en contacto con el aire. Esta combustión secundaria, muy peligrosa en minas de carbón, puede evitarse mediante un buen atacado de los barrenos.

Fácilmente se comprende también la influencia de la clase de roca en que se da el tiro sobre los productos de la explosión. Una pega en caliza puede aumentar la proporción de ácido carbónico en los gases, y si el barrero se da en minerales que contengan azufre, pueden figurar entre los productos de la explosión los gases sulfuroso y sulfídrico. No olvidemos que también pueden reaccionar dichos productos con el carbón y polvo de carbón en las minas de esta clase.

En las minas de carbón, en que la ventilación debe ser muy activa, son fácilmente diluidos los productos de la explosión de los barrenos, haciéndolos inofensivos, pero no suelen encontrarse en el mismo caso muchas minas metálicas, que, por su deficiente ventilación, unida al empleo de grandes cantidades de explosivos, obligan a adoptar todo género de precauciones antes de penetrar en un frente en el que se haya dado una pega im-

portante, ya que a veces, y durante varias horas, puede ser venenosa su atmósfera.

Gardner, Howell y Jones (1) han publicado los siguientes análisis, que revelan los cambios sufridos por la atmósfera de una galería a consecuencia de una pega de barrenos:

GASES	Muestra tomada en el eje de la galería antes de la pega, a 3 m. del frente.	Muestra tomada en el eje de la galería 8 minutos después del tiro, a 60 cms. del frente.	Muestra del cielo de la galería 8 minutos después de la pega, a 3 m. del frente.
CO ₂	0,46	8,71	6,21
O ₂	20,26	15,82	17,42
CO	0,00	2,38	1,56
H ₂	0,00	0,62	0,57
CH ₄	0,00	0,47	0,45
NO ₂	0,00	0,00	0,00
N ₂	79,28	79,00	73,79

3.^a *Combustión espontánea del carbón y fuegos subterráneos.*—Ya hemos indicado anteriormente que en el tercer período de oxidación, cuando la temperatura de la masa de carbón está comprendida entre 120 y 140°, se desprenden los óxidos de carbono y vapor de agua.

Añadamos ya que el calor desprendido simultáneamente por la sulfatación de la mar-

(1) Bureau of Mines, Bol. 287, 1927.

casita y por esta combustión puede ser suficiente para conducir la masa de carbón al cuarto período, o sea, a una temperatura de 200 a 275°, tal que el calor, desarrollándose de un modo continuo, eleve constantemente la temperatura. Este período difiere, pues, de los comprendidos en el caso primero, en que la combustión se mantiene por sí misma, sin el concurso de un manantial externo de calor.

En general, puede afirmarse que para cada clase de carbón hay una *temperatura crítica*, por bajo de la cual la oxidación no llega a ser verdaderamente destructora, y se caracteriza porque, llegado el carbón a dicha temperatura, la oxidación destruye realmente los carbones, y además, una vez iniciada, no depende su continuación de ninguna condición externa, propagándose por sí misma y constituyendo una verdadera *autocombustión*. Esta temperatura crítica ha sido fijada por Fayol en 176°; Bedson da una temperatura más baja, de 140 a 150°; Anderson la eleva a 190°, y, por último, de los experimentos de Parr y Kresmann resulta estar comprendida entre 200 y 275° para el carbón expuesto al aire.

En el cuarto período, de autocombustión, la actividad química resulta aún más favorecida por el hecho de que a temperaturas superiores a 300° comienza la descomposición de muchos de los compuestos que integran el carbón, reacciones exotérmicas que contribu-

yen así a producir un aumento de calor. El fenómeno de la ignición, o combustión viva del carbón, sólo se produce a temperaturas mucho más elevadas, que suelen ser superiores a 350° y acercarse a veces a los 400°. La *temperatura de inflamación* está, pues, comprendida entre 350 y 400°.

Vemos, por tanto, que el carbón es susceptible de encenderse espontáneamente. Examinemos ahora si las condiciones de la explotación subterránea contribuyen a favorecer más bien que a alejar el peligro.

Desde luego salta a la vista que si el carbón, durante la explotación, no participara de los movimientos que ésta determina en el terreno, formaría una masa compacta, la superficie expuesta a la oxidación sería relativamente pequeña, y los calentamientos, y por tanto los fuegos, serían muy raros.

Desgraciadamente, en la práctica no es así. La explotación produce huecos; si es bien llevada, estos huecos se rellenan, pero estos rellenos, al hacer su asiento, producen nuevos espacios vacíos, que, dejando descolgado el terreno situado sobre la explotación, determinan el movimiento del mismo, lo que tiene lugar de diversas maneras, según que las rocas superiores al relleno sean duras, blandas o de consistencia media.

Cuando se trata de terreno blando y compacto, como la arcilla, no se observa, en el

caso de capas de potencia media, sino una incurvación del techo, que se adapta al relleno, desapareciendo el hueco sensiblemente. Los materiales para el relleno de éste son suministrados por las rocas laterales, gracias a la propagación lateral y ascendente del hundimiento; la naturaleza compacta del terreno evita la producción de grietas o fisuras. Si, al contrario, la capa es potente, el movimiento del terreno es bastante grande para que pueda tener lugar sin afectar a las rocas laterales. Originanse entonces superficies de rotura, grietas, verdaderas fallas, que limitan el campo de hundimientos.

En el caso de terrenos duros, no se produce ninguna inflexión notable, sino una rotura, si el esfuerzo es muy grande. El movimiento del terreno no es ni regular ni continuo: queda aquél como descolgado sobre el relleno hasta que sobreviene un brusco hundimiento, sufriendo numerosas roturas, que dan lugar a verdaderas fallas rellenas de fragmentos de las rocas.

De un modo general puede decirse que los movimientos del terreno se traducen en la producción de cavidades y grietas rellenas por carbón triturado o pizarras carbonosas igualmente trituradas. Estas grietas pueden poner en comunicación dos niveles a presiones diferentes, y dar lugar a la formación de cortos circuitos. El aire, al circular por ellas,

oxida el material combustible del relleno, y como las pérdidas de calor por radiación son casi nulas, irá elevándose gradualmente la temperatura, que puede alcanzar un grado peligroso.

Es así como se originan muchos fuegos subterráneos. Sucede con las *fuerzas mecánicas* lo que con la piritita, que no es acaso imposible que unas y otra puedan determinar, por sí solas, el calentamiento e inflamación del carbón, pero que no puede negarse su influencia en el fenómeno de la oxidación, aquéllas fisurando las masas y éstas los trozos de carbón.

Los movimientos y deformaciones de rocas, que son consecuencias de la explotación, no desarrollan ordinariamente cambios apreciables de temperatura (1). Tampoco los rellenos se calientan sensiblemente por efecto de las presiones que los comprimen. La dificultad de poder medir los calentamientos debidos a los rozamientos, deformación y compresión de las rocas, se explica por la lentitud y pequeña amplitud de los movimien-

(1) Se ha creído observar en Silesia que la presión de los terrenos podía determinar elevaciones de temperatura suficientes para dar lugar al calentamiento e ignición del carbón. El hecho que motivó esta suposición fué un fuego que se presentó en un plano inclinado, y que se consideró producido por el cargue de un macizo; no está esto suficientemente dilucidado, y, en todo caso, presentaría un carácter muy excepcional.

tos del terreno. Esa misma lentitud es causa de que, por efecto de dichos movimientos, los estratos no compriman el aire tan rápidamente que se produzcan calentamientos sensibles. Aun en el caso de un hundimiento en masa, los caminos por los que puede escaparse el aire son tantos, que no considero posible que llegue a alcanzar elevadas presiones.

No conozco, por otra parte, ejemplos de hundimientos seguidos inmediatamente de ignición del carbón, sino que, al contrario, el tiempo que transcurre entre la producción de un hundimiento y la inflamación del carbón prueba que hay otro manantial de calor, que no es sino la oxidación del combustible. Si el aire tiene acceso en cantidad suficiente, pero no excesiva, tiene lugar la oxidación del carbón triturado, producido por el hundimiento; el calor desarrollado se acumula, y la temperatura se eleva gradualmente, con su perjudicial influencia.

En una palabra: todos los fuegos son debidos a la oxidación del carbón. Y el efecto de esta oxidación es disminuir el contenido de oxígeno y adicionar ácido carbónico y óxido de carbono a la atmósfera de la mina. Otros efectos posteriores de ella son la elevación de temperatura y la producción o evaporación del agua, aumentando el grado de saturación del aire y empeorando notablemente las condiciones de trabajo.

Cierto es que las últimas fases de un calentamiento espontáneo y de un fuego se caracterizan por el desprendimiento de humos y vapores de alquitrán, que, aunque molestos, no son peligrosos, en tanto no se prolongue excesivamente la permanencia en una tal atmósfera; el peligro está en que a tales vapores pueda acompañar el óxido de carbono en proporciones importantes y a veces mortales.

También se desprende en los fuegos algo de hidrógeno sulfurado, gas tan venenoso como el óxido de carbono; la experiencia ha demostrado que en presencia del carbón calentado, la oxidación de las piritas va acompañada del desprendimiento de grandes cantidades de hidrógeno sulfurado.

El peligro que supone la presencia de estos gases venenosos en el aire de la mina nos mueve a dedicar algún espacio al examen de las señales precursoras de un fuego, ya que de su reconocimiento depende el que sea atacado a tiempo.

Tales síntomas varían no sólo con la clase de carbón, sino también con el sistema de explotación, y con el mayor o menor esmero en la ejecución de ésta. Morgan (1) los ha estudiado con todo detalle, y también en nuestro libro *Incendios y fuegos subterráneos* fi-

(1) Trans. Inst. Min. Eng. 1928, pág. 346.

gura una completa exposición de los mismos.

La primera señal consiste en un ligero aumento de temperatura y de humedad del aire en las proximidades de la zona del calentamiento, y este aire caliente, al encontrar una corriente de aire frío, produce algo de niebla y determina una condensación de vapor sobre las superficies frías.

Para los que desgraciadamente nos vemos obligados a emplear gafas, un empañamiento de los cristales en un sitio en que antes no hayamos notado la menor anomalía debe ponernos en guardia. Empieza también a percibirse un ligero olor muy semejante al que se desprende de la madera en descomposición.

Un síntoma al que tampoco debe dejar de dársele importancia es comprobar la existencia de grillos en alguna zona de la mina. Guarécese, en efecto, los grillos en aquellos macizos en que la temperatura es más elevada, siendo la más conveniente para ellos la de 32 grados.

A medida que avanza el calentamiento acentúanse los síntomas que acabamos de enumerar: la niebla, las condensaciones de vapor y el olor son más intensos. Ultimamente se percibe el llamado *tufó* u olor del fuego, debido a la producción de fenoles, lo que tiene lugar cuando en el macizo calentado existen zonas cuya temperatura es de 300 a 400 grados. El humo aparece después y es

entonces cuando el fuego está próximo a hacerse visible. Durante este último período es cuando es verdaderamente peligrosa la permanencia en tal atmósfera, que estará muy cargada de óxido de carbono.

Añadamos que, después de concienzudas experiencias llevadas a cabo durante muchos años, Grahan ha demostrado que un análisis cuidadoso del aire de la mina, y sobre todo la determinación del valor de la relación

$$\frac{\text{Óxido de carbono producido}}{\text{Oxígeno absorbido}}$$

es de la mayor importancia desde el punto de vista de la oxidación del carbón, y, por lo tanto, de los calentamientos y fuegos.

Muy difícil es fijar el valor de dicha relación, que indica la proximidad de un fuego. En aquellas minas en que la oxidación del carbón es pequeña y lenta, un valor de

$$\frac{\text{CO}}{\text{O}_2 \text{ absorbido}}$$

igual a 0,2 puede indicar un principio de calentamiento; en cambio, en otras minas en que el carbón se oxida con mayor intensidad, el valor de 1,0 no es bastante para producir ninguna alarma. Un valor normal para una mina puede ser peligroso para otra. Más importancia que el valor en sí de dicha relación lo tiene su variación, cuando se observa un

aumento persistente. Si durante varios días se comprueba un aumento de valor de dicha relación, puede tenerse la seguridad de que se está en presencia de un principio de calentamiento. Muestras de aire tomadas en distintos puntos de la mina, y analizadas periódicamente, permitirán la limitación de la zona peligrosa.

Recientes estudios de Vallis (1) le han permitido llegar a establecer como valores peligrosos de la relación considerada los comprendidos entre 1,1 y 2,9.

4.^a *Explosiones de grisú y de polvo de carbón.*—La composición de los gases producidos por una explosión de esta naturaleza varía con la proporción en que el grisú y el polvo intervienen en la misma. La proporción de oxígeno existente en la atmósfera juega también un importante papel, contribuyendo a modificar la composición de los productos gaseosos de la explosión.

Cuando la proporción de grisú excede del 9,5 por 100, la del oxígeno es insuficiente para que se produzca una combustión completa, y los gases resultantes contienen un elevado porcentaje de óxido de carbono.

Las explosiones en que sólo toma parte el grisú son muy raras (chimeneas, campanas en el techo de galerías, etc.); lo corriente y

(1) *Colliery Guardian* 28-11-1930.

altamente peligroso es que el polvo de carbón participe en las mismas. El producto de tales explosiones es una mezcla compleja y venenosa de los gases resultantes de la combustión parcial o completa del polvo y gas, y de la destilación del carbón.

Las investigaciones llevadas a cabo por el departamento de Minas de los Estados Unidos demuestran que los productos de las explosiones de polvo de carbón contienen, en proporciones muy variables, oxígeno, ácido carbónico, óxido de carbono, nitrógeno, metano, etano, etileno e hidrógeno. El oxígeno puede estar presente bien por una combustión parcial o por una incorporación de aire fresco. El ácido carbónico es producto de la combustión completa del polvo de carbón o derivado de la caliza que contengan los polvos neutralizantes. El óxido de carbono puede proceder de la combustión en presencia de un exceso de polvo o de cok, de la destilación del carbón o de la reducción del agua por el carbón a alta temperatura. El nitrógeno es el contenido por el aire, y el metano y etano son productos de la destilación del carbón, así como también el etileno y el hidrógeno.

A continuación indicamos las mayores proporciones de óxido de carbono producidas en

las explosiones de diferentes mezclas de polvo de carbón y polvo de pizarra:

Polvo de carbón por 100	Polvo de pizarra por 100	Proporción de óxido de carbón por 100
100	0	11,66
80	20	4,03
70	30	5,93
60	40	3,25
50	50	2,10

Basta el examen de las cifras relativas al óxido de carbono para comprender las propiedades mortíferas de los productos de tales explosiones, y a la presencia de dicho gas se debe el mayor porcentaje de víctimas en las explosiones que se producen en las minas de carbón.

5.^a *Empleo de motores de combustión interna.*—Los gases de escape de estos motores contienen óxido de carbono en proporciones diferentes, según que carburen bien o mal. Si la carburación es buena, la proporción de óxido de carbono puede ser tan reducida como la de 1,5 por 100 del volumen correspondiente a la pistonada, pero una mala carburación puede elevar dicho porcentaje a 5,75.

Fácilmente se comprende que un sencillo cálculo puede darnos a conocer la cantidad de aire necesaria para diluir convenientemente los productos de escape y evitar el efecto perjudicial de los mismos.

6.^a *Compresores de aire.*—El empleo de aceites de un punto de inflamación muy bajo puede ser causa de la producción de óxido de carbono en los cilindros de los mismos. Claro es que esto sólo puede tener lugar en condiciones excepcionales, que no deben darse en la práctica.

Examinados los diferentes manantiales del óxido de carbono en las minas, vamos a resumir las principales propiedades de gas tan nocivo.

CAPITULO II

Propiedades del óxido de carbono.

La densidad, 0,97, de dicho gas favorece su acumulación en las partes altas de los trabajos, sin que haya medios fáciles de reconocer su presencia, ni por su olor ni color, ni por ejercer influencia sobre la intensidad de una llama sino cuando sus proporciones son considerables con relación a aquélla, que ya determina una muerte instantánea.

A estas propiedades hay que unir otras dos, precisamente las que hacen más temible la presencia de este gas: su inflamabilidad y su toxicidad, sobre todo esta última.

A la inflamabilidad del óxido de carbono se le ha dado, en general, más importancia de la que realmente tiene, hasta el punto de que frecuentemente se han atribuído al óxido de carbono las llamaradas y explosiones a que han dado lugar algunos fuegos e incendios, cuando es fácil demostrar que no es así.

En efecto, siendo posible respirar la atmósfera en que aquéllas se han producido, la proporción de óxido de carbono sería inferior a 1 por 100; ahora bien, si N y N' representan los límites de inflamabilidad de dos gases combustibles, y n y n' sus proporciones en

una mezcla de dichos gases y de aire, la mezcla es explosiva si

$$\frac{n}{N} + \frac{n'}{N'} > 1$$

y como los límites de explosibilidad del grisú y óxido de carbono son, respectivamente, 6 y 16 por 100, la proporción de grisú en la mezcla habría de ser

$$\frac{x}{6} + \frac{1}{16} = 1$$

de donde $x = 5,6$ por 100, cifra muy próxima al límite de explosibilidad del grisú, lo que nos revela que la explosión en un caso semejante se debe, casi exclusivamente, a la presencia del grisú. A la misma conclusión llegaríamos si consideramos las llamaradas y partimos de los límites inferiores de inflamabilidad del grisú y del óxido de carbono, 4,5 y 8,4, respectivamente.

La inflamabilidad del óxido de carbono es menor que la del grisú, pero su toxicidad es incomparablemente mayor, puesto que el grisú asfixia por falta de oxígeno, y, en cambio, pequeñas proporciones de óxido de carbono producen la muerte aun en presencia de un exceso de oxígeno, y es en esta toxicidad en la que vemos el mayor peligro que determina la presencia del óxido de carbono.

Su estudio bien merece capítulo aparte.

CAPITULO III

Toxicidad del óxido de carbono.

Es tal que ha dado lugar a que se llegue a considerar el óxido de carbono como uno de los gases de posible empleo en la guerra química, si bien su ligereza, que favorece su evacuación de las trincheras y de las depresiones del terreno, ha sido causa de que no se utilizase en la guerra europea, en la que se dió la preferencia a otros gases más densos, y entre ellos al fosgeno, cuya toxicidad es cinco veces mayor que la del óxido de carbono. Sin embargo, durante ella pudieron apreciarse los efectos tan mortíferos de este último gas, hasta el punto de que en los combates navales se contaban por centenares las víctimas ocasionadas por la explosión de proyectiles cargados con altos explosivos en recintos poco ventilados de los buques combatientes. Otro tanto sucedió en la guerra subterránea, pues las explosiones de minas y hornillos producían tal cantidad de óxido de carbono, que se tuvo necesidad de crear verdaderas y numerosas brigadas de salvamento,

organizadas y entrenadas en forma digna de ser envidiada por las que tienen a su servicio las mejores cuencas carboníferas, habiéndose efectuado tales estudios y descubrimientos para contrarrestar sus nocivos efectos, que hoy no nos debe ya inspirar la presencia del óxido de carbono el mismo respeto que antes.

La acción tóxica del óxido de carbono es debida al hecho de que se combina con la hemoglobina, constituyente coloreado de la sangre, que sirve de vehículo, transportando el oxígeno en combinación libre desde los pulmones a los tejidos. Cuando el óxido de carbono ocupa el lugar del oxígeno en la sangre, se interrumpe el transporte de éste, en mayor o menor grado, y el animal muere si el proceso se prolonga y deja de proporcionarse a los tejidos el oxígeno necesario para la vida.

Sabido es que la sangre de los animales vertebrados está constituida por un líquido ligeramente salado, llamado plasma, que lleva en suspensión glóbulos.

La sangre humana contiene cinco millones de glóbulos por centímetro cúbico, o sea 450 gramos de glóbulos para 500 gramos de plasma. Dichos glóbulos son células que no constan más que de una fina membrana envolvente, muy elástica, y de un contenido protoplásmico cargado de una materia colorante especial, la hemoglobina. Los glóbulos de la sangre humana son discos ligeramente bicón-

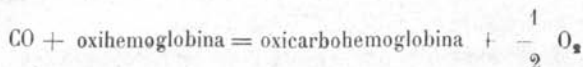
cavos que miden, por término medio, 7×2 micrones.

Cuando la atmósfera tiene la composición normal, la hemoglobina de la sangre venosa se combina en los pulmones con el oxígeno del aire hasta absorber, por término medio, 16 centímetros cúbicos por 100 de sangre. La oxihemoglobina resultante de esta reacción es un compuesto inestable que abandona fácilmente su oxígeno al contacto de elementos reductores, pero que, al contrario, es susceptible de combinarse con el óxido de carbono, formando un producto estable, la *oxicarbohemoglobina*. Por consiguiente, cuando la atmósfera contiene óxido de carbono, la fracción de la sangre que en los alvéolos pulmonares se transforma en oxicarbohemoglobina deja de participar en los cambios gaseosos que tienen lugar al contacto de los tejidos; el efecto es el mismo que si fuese reducida la cantidad de sangre en circulación, y análogo también al que produciría una proporción de oxígeno inferior a la normal.

Resulta, por tanto, que las asfixias a que da lugar la presencia del óxido de carbono son de la misma naturaleza que las determinadas por una falta de oxígeno. Y si son particularmente peligrosas estas intoxicaciones es debido a que la presencia de trazas de dicho gas en la atmósfera respirada neutraliza una fracción importante de la sangre en circula-

ción en el cuerpo. La acción del óxido de carbono es de acumulación, es decir, que aunque existan pequeñas proporciones de dicho gas en el aire respirado, la intoxicación es lenta, pero continúa hasta alcanzar el correspondiente grado de saturación.

Y todo pasa como si la reacción que da lugar a la formación de la oxicarbohemoglobina fuese monomolecular, es decir, respondiese a la fórmula



La formación de la oxicarbohemoglobina, la proporción y rapidez de saturación de la hemoglobina de la sangre depende, en gran parte, de la influencia de las masas relativas de oxígeno y de óxido de carbono presentes en la sangre que sale de los pulmones. En la humana, y a la temperatura del cuerpo, la afinidad del óxido de carbono y la hemoglobina es de 250 a 400 veces mayor que la del oxígeno y la hemoglobina. Por lo tanto, y de acuerdo con los experimentos del doctor Haldane, en aire que contenga 0,02 por 100 de CO y 20,9 por 100 de oxígeno, la hemoglobina alcanza un 20 por 100 de saturación en un breve período de tiempo. En efecto, la relación del óxido de carbono al oxígeno en el aire respirado es

$$\frac{2}{2090} = \frac{1}{1045}$$

y como la sangre acaba conteniendo, según hemos indicado, 20 por 100 de óxido de carbono y 80 por 100 de oxígeno, la relación de absorción habrá sido

$$\frac{20}{80} = \frac{1}{4}$$

y la *relación relativa* de absorción será, pues,

$$\frac{\frac{1}{4}}{\frac{1}{1045}} = \frac{1045}{4} = 260, \text{ aproximadamente,}$$

es decir, que en este experimento las sangre absorbió el óxido de carbono 250 veces más rápidamente que el oxígeno, a igualdad de las demás condiciones.

Otro experimento mostró un 50 por 100 de saturación de la sangre cuando el aire respirado contenía 0,08 por 100 de óxido de carbono. Con estos datos se tiene

Relación del CO al O	$\frac{8}{2090}$	$=$	$\frac{1}{260}$
» de absorción			$\frac{1}{1}$
» relativa de absorción	$\frac{1}{1}$	$=$	260
	$\frac{1}{260}$		

como en el caso anterior.

Por último, en otro experimento se reco-

noció el mismo grado de saturación de la sangre respirando un aire que contenía 0,05 por 100 de óxido de carbono, de modo que, procediendo como en los casos anteriores, encontramos que la afinidad de la hemoglobina por el óxido de carbono ha sido 418 veces mayor que por el oxígeno.

Estos experimentos, y otros análogos, nos demuestran no sólo la gran afinidad de la sangre hacia el óxido de carbono, para formar la oxicarbohemoglobina, sino que la rapidez de absorción de dicho gas por la sangre de diferentes individuos varía con la constitución y grado de vitalidad de los mismos. También ponen de manifiesto el peligro que lleva consigo el trabajo en una atmósfera de mina que contenga la menor cantidad de óxido de carbono, aun empleando obreros robustos.

Por otra parte, de dichos experimentos se deduce que existe una relación, más o menos definida, entre la proporción de óxido de carbono en el aire y el grado de saturación de la sangre de un animal expuesto durante un tiempo suficiente para alcanzar el maximum de saturación. Si esta relación fuese constante, se podría deducir la proporción exacta de óxido de carbono en el aire determinando el grado de saturación de la sangre del animal. Sin embargo, dicha relación está sujeta a la influencia de varios factores: así en el animal que sufre la escasez de oxígeno, a causa del

envenenamiento determinado por el óxido de carbono, aquel gas es absorbido activamente por las células epitelarias que recubren los pulmones, y que determinan su paso a la sangre a una presión parcial más alta que el aire. A consecuencia de ello, la influencia de la masa de oxígeno se acentúa y, por consiguiente, se expulsa parte del óxido de carbono. La extensión en que esto se produce varía bastante de unos animales a otros, y, por tanto, el examen de la sangre procedente de animales vivos sólo nos suministra una idea aproximada del porcentaje de óxido de carbono en el aire, aunque, en general, es suficiente para fines prácticos, según veremos más adelante.

Una de las propiedades más notables del óxido de carbono es la de ser el único gas que comunica a la sangre un tinte rasáceo, propiedad que, como veremos, es la base de uno de los varios procedimientos que pueden seguirse para reconocer su presencia y proporción en el aire.

Ya hemos indicado que el grado de saturación de la sangre y, por lo tanto, la intensidad de la intoxicación, varía de unos individuos a otros; pero nadie debe considerarse inmune a la acción venenosa del óxido de carbono. Una persona puede trabajar en una atmósfera que contenga una mínima proporción de dicho gas sin que sienta sino los sín-

tomas preliminares de intoxicación. Estos síntomas desaparecerán y aparentemente se creerá que la acción acumulativa del óxido de carbono cae en defecto. Sin embargo, si dicho individuo respira una atmósfera conteniendo una proporción de óxido de carbono suficiente para determinar un serio envenenamiento, será afectado más fácilmente.

Debe tenerse presente que el ejercicio muscular, la fatiga mental y la excitación favorecen la absorción del óxido de carbono; que los sujetos que padecen afecciones bronquiales, los asmáticos y los cardíacos, son muy sensibles a la acción de dicho gas, a causa, sin duda, de la mayor relación de respiración; que los que parecen ser más sensibles son los que presentan lesiones del sistema nervioso, y la intoxicación determina en ellos grandes desórdenes nerviosos, y, por último es un hecho confirmado por la práctica que los individuos jóvenes son atacados en mayor grado que los de alguna edad, no existiendo otra razón a que atribuir conclusión tan paradójica que la mayor elasticidad pulmonar que poseen los primeros.

Todo ello viene en apoyo de lo ya indicado: que la intoxicación producida por el óxido de carbono varía con la naturaleza del individuo, con el trabajo, etc. Son proporciones peligrosas, que producen distintos grados de saturación en la sangre, las siguientes:

PROPORCIÓN DE CO por 100	GRADO DE SATURACIÓN DE LA SANGRE por 100
0.025	20
0.05	33
0.1	50
0.2	66
0.3	75

Siendo equivalentes las atmósferas siguientes:

Aire con 0,025 por 100 de CO y mezcla de 17,0 por 100 de O² y 83,0 por 100 de N²

Aire con 0,05 por 100 de CO y mezcla de 14,0 por 100 de O² y 86,0 por 100 de N²

Aire con 0,1 por 100 de CO y mezcla de 10,5 por 100 de O² y 89,5 por 100 de N²

Aire con 0,2 por 100 de CO y mezcla de 7,0 por 100 de O² y 93,0 por 100 de N²

Aire con 0,3 por 100 de CO y mezcla de 5,3 por 100 de O² y 94,7 por 100 de N²

Existe, sin embargo, una diferencia entre una atmósfera pobre en oxígeno y la equivalente en CO. El organismo sufre los efectos de la primera tan pronto como empieza a respirarla, en tanto que la acción del óxido de carbono sólo empieza a notarse después de permanecer en el medio viciado el tiempo nece-

sario para la transformación de la oxihemoglobina en oxicarbohemoglobina, tiempo que depende, naturalmente, de la proporción de gas en la atmósfera y de la actividad de la ventilación pulmonar.

La experiencia ha demostrado la exactitud de estas deducciones. Una permanencia prolongada en una atmósfera que contenga 0,025 por 100 de CO es tolerada por el organismo. Si la proporción de CO se eleva a 0,05 por 100, aún no se manifiestan los síntomas de la intoxicación; pero la persona que respira una tal atmósfera, y trata de efectuar un esfuerzo físico, nota molestias semejantes a las que determina una altitud de 3.000 metros, en la que el valor normal de la presión barométrica es de 520 mm. de mercurio, que corresponden a una disminución de un 31 por 100 de la presión parcial del oxígeno.

La permanencia en una atmósfera que contenga 0,1 por 100 de CO no es mortal; pero no puede prolongarse algunos minutos sin que se padezcan dolores de cabeza, vértigos y palpitaciones del corazón, que aumentan a medida que se eleva el grado de saturación de la sangre, molestias análogas a las que padecen los exploradores y aviadores que alcanzan altitudes de 5.000 a 6.000 metros.

Finalmente, una atmósfera con más de 0,2 por 100 de CO, es mortal; los síntomas que acabamos de indicar se suceden más rápida-

mente y con mayor intensidad. Son seguidos de astenia de los miembros inferiores, alteraciones en los órganos de los sentidos y, finalmente, de coma.

Podemos, pues, establecer la siguiente relación entre el grado de saturación de la sangre y los efectos observados:

33 por 100 de saturación: primeros síntomas de intoxicación.

50 por 100 de saturación: síntomas bien marcados.

66 por 100 de saturación: muerte.

Observemos, también, que un mismo grado de saturación, 50 por 100, se obtiene:

Permaneciendo dos horas y media, en reposo, en aire con 0,1 por 100 de CO.

Permaneciendo una hora, trabajando, en aire con 0,1 por 100 de CO.

Permaneciendo media hora, trabajando, en aire con 0,2 por 100 de CO.

Permaneciendo veinte minutos, trabajando, en aire con 0,3 por 100 de CO.

Estos resultados nos demuestran la gran influencia que tiene el estado de reposo o trabajo para llegar al período de pérdida del conocimiento, con distintas proporciones de óxido de carbono.

Hemos indicado anteriormente que la acción tóxica del óxido de carbono varía mucho de unos individuos a otros en cuanto a la velocidad de fijación de dicho gas por la san-

gre. Lo mismo sucede en los animales inferiores: un perro tarda veinte minutos en morir en una atmósfera que contenga 1 por 100 de CO (1), y, en cambio, animales de sangre ardiente, como los ratones y los pájaros, son más sensibles que el hombre a los efectos del óxido de carbono. Precisamente esta mayor sensibilidad que generalmente presentan los ratones y los pájaros, y sobre todo los canarios, ha motivado su empleo para reconocer atmósferas consideradas como sospechosas. Sin embargo, y como veremos más adelante, experimentos posteriores han demostrado la poca garantía que merece este medio de reconocer la presencia del óxido de carbono en el aire.

En resumen, las conclusiones que sus numerosos experimentos han permitido establecer al Dr. Haldane son las siguientes:

1.ª Las proporciones de óxido de carbono inferiores a 0,02 por 100 son prácticamente inofensivas, y no producen, por tanto, síntomas apreciables de intoxicación;

2.ª La acción tóxica del óxido de carbono es menor si el aire contiene algo de ácido carbónico, y, al contrario, la falta de oxígeno acentúa sus efectos;

3.ª Los pequeños animales que han sido objeto de experimentación, ratones y cana-

(1) Gréhant, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 4 de marzo de 1901.

rios, aunque más sensibles, reaccionan con mayor rapidez y no presentan síntomas posteriores de envenenamiento, los cuales son, en cambio, tan marcados en el hombre; y

4.^a El análisis de la sangre de las víctimas producidas por los gases de una explosión, por el *afterdamp*, revela un 80 por 100 de saturación por el óxido de carbono.

Una serie de experimentos llevada a cabo en la estación de ensayos de Pittsburgo, para determinar el efecto de la exposición repetida de las ratas y canarios a la acción del óxido de carbono, corrobora la tercera conclusión del Dr. Haldane, aunque insistimos en que ni los ratones ni los canarios ofrecen las debidas garantías para ser empleados como avisadores del óxido de carbono.

Resulta, pues, que el obrero que ha estado expuesto a los efectos del óxido de carbono presenta mayor sensibilidad a la acción tóxica de dicho gas que si no lo hubiese respirado antes. Este no es el caso de los ratones y canarios, y sobre todo de estos últimos: uno de dichos animales que haya sufrido la intoxicación producida por el óxido de carbono, no presenta mayor sensibilidad que el que no ha estado expuesto nunca a la acción de dicho gas. En el cuadro siguiente exponemos los resultados de los experimentos llevados a cabo con un canario en una atmósfera conte-

niendo 0,25 por 100 de óxido de carbono (1). Se le sometió ocho veces seguidas a la acción de dicha atmósfera, prolongando cada exposición el tiempo necesario para provocar el colapso; logrado éste, se le hacía respirar aire puro hasta hacerle reaccionar, sometién- dolo inmediatamente después a un nuevo en- sayo.

Número del experimento	TIEMPO EN MINUTOS		
	Primeros síntomas	Colapso	Tiempo que ha tardado en reaccionar
1	3	1	7
2	3	1	8
3	1	3	8
4	2	3	7
5	2	2	7
6	2	2	7
7	2	1	12
8	1	1	8

El examen del cuadro nos muestra que el tiempo que media entre el momento de la exposición y el colapso es muy constante (cuatro minutos), excepto en los experimentos 4.º, 7.º y 8.º, y que otro tanto sucede con el tiempo necesario para lograr la reacción.

En el hombre las cosas pasan de muy distinta manera, y su disminución de resistencia al óxido de carbono es muy marcada, a

(1) Technical paper, núm. 62 del U. S. Bureau of Mines.

menos de que una permanencia prolongada al aire puro haya permitido la regeneración total de la sangre. Por esto, y en mi libro *Incendios y fuegos subterráneos*, recomiendo la selección y renovación del personal que forma los equipos de trabajo, para no llegar a agotarlo.

Pero no es sólo a los mineros a los que nos preocupa la presencia del óxido de carbono en el aire a respirar, sino que ya interesa también a los higienistas, a causa del creciente empleo del gas de alumbrado; y es tanto más de desear el estudio de esta cuestión, cuanto que el miedo a los accidentes a que puede dar lugar el óxido de carbono constituye un serio peligro para el porvenir de la industria del gas.

Por otra parte, existen numerosas instalaciones industriales en que, siendo gasificadas cantidades enormes de carbón y de cok, constituye también un peligro el óxido de carbono producido en aquellos casos de ventilación insuficiente. Y bajo este punto de vista, la industria siderúrgica ocupa el primer lugar.

También los gases de escape de los motores de automóviles contienen proporciones muy variables, pero en general grandes, de óxido de carbono, y es a este gas al que debe atribuirse algunas veces el malestar que experimentan muchos viajeros en los ómnibus de línea. Así se comprende que hoy conside-

remos digna de estudio la atmósfera de muchas calles estrechas, mal orientadas y de un tráfico grande de automóviles.

Tan importante es esta cuestión, que, convencidos de su utilidad, se están llevando a cabo interesantes estudios en el Laboratorio municipal de París.

CAPITULO IV

Proceso de la intoxicación producida por el óxido de carbono.

Los primeros síntomas de la intoxicación a que da lugar la presencia del óxido de carbono en el aire, son: zumbido de oídos, gusto dulzón en la boca, signos precursores de mareo, opresión de pecho, disminución de la respiración y sensación de asfixia.

Siguen a estos síntomas la pérdida de fuerzas en las piernas y brazos, sobre todo en las primeras, que parecen negarse a sostenernos.

En algunos casos, la pérdida de fuerzas va acompañada de un aumento de lucidez de las facultades mentales; en otros, éstas se oscurecen de tal modo, que el individuo parece atontado, y con frecuencia es víctima de las más horribles congojas: he presenciado el caso de obreros que lloraban amargamente la muerte de sus padres, ocurrida muchos años antes. A veces los intoxicados son atacados de verdaderas risas sardónicas, pero, en general, dominan los casos de depresión moral muy acentuada.

Es muy difícil poder dar una idea, siquiera

sea aproximada, de las escenas a que dan lugar los fuegos de los que se desprende el óxido de carbono en proporción algo importante; realmente, tales cuadros deprimen el espíritu más fuerte, y sólo la costumbre puede dar la fuerza moral tan necesaria en los accidentes de esta naturaleza.

Los principios de la intoxicación producida por el óxido de carbono son comparables, hablando gráficamente, a los de la embriaguez, y, para que la analogía sea mayor, hasta la vista sufre los mismos desarreglos: es corriente percibir los objetos con tamaño distinto del natural, y es así como se ve tropezar frecuentemente a los intoxicados, circunstancia muy digna de tenerse en cuenta, pues el no tenerla en consideración ha sido causa de graves accidentes, sobre todo cuando el salvamento se hace por un pozo e imprudentemente se ha dejado subir o bajar escalas a individuos que se encuentran bajo los efectos del óxido de carbono. Y es más de tener en cuenta esta advertencia cuanto que, frecuentemente, tales individuos suelen perder el conocimiento al pasar a un medio a temperatura inferior que aquella a que han estado sometidos, debido a la acción del óxido de carbono, que, privando a los tejidos del oxígeno necesario, altera la regulación del calor y determina un estado de hipotermia que hace caer al obrero en un estado comatoso peli-

groso y del que se le debe sacar recurriendo a medios violentos y al parecer inhumanos, sacudiéndolos, e incluso abofeteándolos, para hacerles reaccionar.

En el incendio de la mina Nalona, al que tuvé la suerte de asistir como espectador, y al decir suerte me refiero a lo instructivo que es el ver de cerca estos accidentes, el carpintero que utilizábamos en hacer un tabique de tablas se retiró del frente y vino a apoyarse en una vagoneta, a mi lado. Como observase que se dormía, le sacudí violentamente; no quiero acordarme de la impresión que esto produjo al resto del personal, pero bastó una sencilla explicación para convencerles de lo útil de tal procedimiento. La consecuencia fué que el carpintero reanudó su trabajo.

A los primeros síntomas, ya indicados, suceden la falta de coordinación en los movimientos, pesadez de estómago, vómitos, palpitaciones en las sienas, temblores y sacudidas nerviosas, hipotermia, rigidez de brazos y piernas, síntomas cardíacos, grandes palpitaciones en las arterias del cuello, aumento de pulsaciones, cuyo número llega a ser de 145 a 150, aunque a veces presenta una notable disminución, reduciéndose a 30 o 40 por minuto; en este estado, basta a veces el menor esfuerzo para determinar el atontamiento, seguido de otros síntomas cerebrales de mayor gravedad. Caen con frecuencia los

obreros en un estado comatoso, del que algunos reaccionan en poco tiempo, presentando entonces una irascibilidad extrema, o llorando, riendo, desvariando, en una palabra. De persistir el estado comatoso, pueden sobrevenir colapsos muy graves, seguidos a veces de muerte.

Ordinariamente, y cuando la intoxicación no ha llegado a determinar la pérdida de conocimiento, no reviste gravedad, sobre todo si se tiene la precaución de no dejar dormir al enfermo y se le somete al tratamiento racional que indicamos más adelante. Por otra parte, los efectos determinados por una exposición prolongada son más graves que los originados por una corta permanencia en una atmósfera muy cargada, y, debido a la acción del gas sobre la sangre, unos y otros son siempre más perjudiciales que los determinados por la respiración muy prolongada en una atmósfera pobre de oxígeno. Los centros vitales del cerebro no pueden soportar la falta de oxígeno a que da lugar la saturación de la sangre con el óxido de carbono.

Obsérvase también en los intoxicados por el óxido de carbono una predisposición grande a los procesos neumónicos, que corrientemente determinan la muerte en tres días, empezando por el pulmón derecho y presentándose con los caracteres de hipotermia y pulso frecuente, completamente anormal.

CAPITULO V

Correspondencia entre los distintos síntomas y el grado de saturación de la sangre

En el cuadro siguiente, y como resumen de todo lo expuesto en el capítulo anterior, establecemos la relación existente entre distintos grados de saturación de la sangre y los síntomas observados:

Porcentaje de saturación de la sangre	S I N T O M A S
0-10 por 100	Ninguno.
10-20 » »	Ligero dolor de cabeza, dilatación de los vasos cutáneos.
20-30 » »	Dolor de cabeza, palpitaciones en las sienas.
30-40 » »	Dolores fuertes de cabeza, flojedad, mareos, desarreglos de la visión, náuseas y vómitos, postración.
40-50 » »	Los anteriores, con mayor postración y posibilidad de desvanecimientos, respiración y pulso más frecuente.
50-60 » »	Los anteriores, más acentuados, coma con convulsiones intermitentes.
60-70 » »	El estado comatoso, con convulsiones intermitentes, va acompañado con una depresión cardíaca y seguido con frecuencia de muerte.
70-80 » »	Pulso débil, respiración lenta y muerte.

También hemos formado el cuadro siguiente, que indica el tiempo necesario para que la sangre llegue al grado de saturación representado por el 80 por 100 del correspondiente a la proporción de CO considerada.

Por 100 de CO en el aire	80 por 100 de la saturación correspondiente al porcentaje de CO	TIEMPO
0,02 a 0,03	23 a 30	5 a 6 horas
0,04 a 0,06	36 a 44	4 a 5 »
0,07 a 0,10	47 a 53	3 a 4 »
0,11 a 0,15	55 a 60	1 1/2 a 3 »
0,16 a 0,20	61 a 64	1 a 1 1/2 »
0,20 a 0,30	64 a 68	30 a 45 minutos
0,30 a 0,50	68 a 73	20 a 30 »
0,50 a 1,00	73 a 76	2 a 15 »

Como ya hemos indicado anteriormente, los efectos de la intoxicación producida por el óxido de carbono varían según la constitución de la persona que lo respira. Podemos citar en apoyo de lo anterior el siguiente hecho, observado con bastante frecuencia después de las explosiones de grisú. Sabido es que uno de los mayores peligros de estas explosiones es el contenido de óxido de carbono de sus productos gaseosos. Pues bien, es frecuente encontrar durante los trabajos de salvamento grupos de obreros que han respirado todos el mismo aire y durante el mismo tiempo, y mientras unos han muerto, otros sólo han perdido el conocimiento y algunos aún con-

servan la lucidez de sus facultades mentales.

Señalemos también el hecho de que, para un grado determinado de saturación de la sangre, la sucesión y gravedad de los síntomas de la intoxicación dependen del tiempo necesario para llegar a dicha saturación, y por tanto, del esfuerzo muscular que se realice. Una corta exposición a un elevado porcentaje de CO lesiona menos los órganos y tejidos que una permanencia prolongada en una atmósfera que contenga menor proporción de CO.

CAPITULO VI

Periodos en que puede dividirse el proceso de intoxicación. Coeficiente de envenenamiento.

De acuerdo con Nicloux, distinguimos los tres periodos siguientes:

- 1.º Período inicial o de rápida invasión.
- 2.º Período de absorción progresiva.
- 3.º Período de equilibrio.

Período inicial o de rápida invasión.—Tan pronto como respiramos una atmósfera cargada de CO, desde la primera inspiración, el aire que entra en los pulmones cede a la sangre una cierta parte del óxido de carbono que contiene, absorción muy importante dada la enorme superficie (quince metros cuadrados en el hombre) que presenta la sangre a la masa gaseosa. Una nueva cantidad de CO es fijada por la sangre durante la inspiración siguiente, y así sucesivamente.

Esta absorción es tan rápida que la sangre de un perro contiene ya un 60 por 100 de hemoglobina oxicarbonada al minuto de respirar una atmósfera que contenga 10 por 100 de CO.

Período de absorción progresiva.—Gréhant,

que ha llevado a cabo estudios muy interesantes sobre la intoxicación oxicarbónica, ha podido comprobar que durante la primera media hora de respiración y para pequeñas proporciones de CO en el aire, comprendidas entre

entre $\frac{1}{1.000}$ y $\frac{1}{10.000}$ y aún menos, las cantidades de CO fijadas por la sangre son exactamente proporcionales a dichos porcentajes.

También comprobó que para estos pequeños porcentajes la cantidad de CO incorporada a la sangre es sensiblemente proporcional al tiempo, al menos durante la primera hora; así, la proporción de CO en la sangre al cabo de una hora era doble de la que contenía al transcurrir la primera media hora, y cuádruple después de dos horas de respiración.

Período de equilibrio.—Pudiera creerse, y erróneamente así se ha creído durante algún tiempo, que el contenido de CO en la sangre iría aumentando de un modo continuo en la forma que acabamos de indicar. Pero, después de un tiempo mayor, la fijación del CO tiene lugar más débilmente, cesa al llegar a un máximo, y a partir de este momento *la sangre no fija ya la menor cantidad de óxido de carbono*. Es el llamado *período de equilibrio*, que empieza cuando la sangre ha alcanzado el grado de saturación correspondiente al porcentaje del CO en el aire respirado.

Coefficiente de envenenamiento.—Ha sido in-

roducido su uso por Balthazard y Nicloux con el fin de poder apreciar el grado de intoxicación, y es la relación de la oxicarbohemoglobina a la hemoglobina total. Resulta, pues, que multiplicando por 100 dicho coeficiente obtendremos el porcentaje de oxicarbohemoglobina.

Así, cuando se dice que el coeficiente de envenenamiento es 0,50, se da a entender que el 50 por 100, o sea que la mitad de la hemoglobina se ha transformado en oxicarbohemoglobina.

Definido el coeficiente de envenenamiento se comprende que existen dos valores del mismo que son de la mayor importancia, el que corresponde al momento en que empiezan a notarse los primeros síntomas y aquel para el que empieza a peligrar la vida.

Para determinar el primero, Hartridge se sometió voluntariamente a la acción de diferentes mezclas de óxido de carbono y de aire, y midiendo el grado de saturación de su sangre comprobó los primeros síntomas al alcanzar una saturación del 43 por 100, a la que corresponde, para el coeficiente de envenenamiento, el valor de 0,43.

Estudios médico-legales han permitido fijar en 0,68 el valor del coeficiente correspondiente al momento de la muerte. Se han compro-

bado intoxicaciones seguidas de muerte con valores de 0,53 y 0,55 del coeficiente de envenenamiento, pero tales anomalías se han producido con sujetos que presentaban lesiones cardíacas y renales.

CAPITULO VII

Tratamiento de los intoxicados por el óxido de carbono.

Por intensa que haya sido la intoxicación, que pueda haber llegado hasta hacer peligrar la vida, si la asfixia a que aquélla equivale no se ha prolongado excesivamente, y se ha aplicado a la víctima un tratamiento enérgico que permita a los glóbulos desempeñar su función en la sangre, la intoxicación no dejará huella alguna en el organismo.

Pero si, por el contrario, la intoxicación, sin ser tan profunda se ha prolongado mucho y no se han prestado a la víctima los debidos cuidados, como durante todo ese tiempo una parte de la sangre no desempeña su función propia, y todo pasa como si la sangre en circulación no fuera sino una fracción, la mitad o menos de la masa total, la anemia a que esto equivale determinará un funcionamiento defectuoso de los distintos órganos, que puede ser causa de lesión de los mismos. En una palabra, la intoxicación dejará reliquias atribuidas, en general, al óxido de carbono, cuando en realidad no reconocen otra causa que la anemia determinada por una permanencia pro-

longada o por una intoxicación muy profunda.

Resulta, pues, que la pérdida de oxígeno en los tejidos es la principal dificultad con que hay que luchar. Sabido es que la insuficiencia en el suministro de oxígeno, durante diez minutos, puede determinar lesiones graves de los centros nerviosos del cerebro. Por consiguiente, la condición indispensable para combatir el envenenamiento producido por el óxido de carbono es procurar la rápida renovación de la sangre saturada, en mayor o menor proporción, de óxido de carbono, por sangre suficientemente oxigenada.

Ya hemos indicado que el carácter venenoso del óxido de carbono se debe principalmente a su gran afinidad química por la hemoglobina de la sangre, y cuya consecuencia es que al formarse la oxicarbohemoglobina se disminuye el transporte de oxígeno de los pulmones a los tejidos. Afortunadamente, la oxicarbohemoglobina no es una combinación tan estable como la hemoglobina; su formación está sujeta a la ley de masas y, por consiguiente, influida por la presión parcial del oxígeno y del óxido de carbono en el aire respirado. La misma ley rige su descomposición.

La primera influencia ha sido confirmada por los experimentos llevados a cabo por los doctores Mosso y Haldane, que han demostrado la posibilidad de respirar con toda se-

guridad una elevada proporción de óxido de carbono, hasta un 6 por 100, con oxígeno a presión de dos atmósferas.

Pero, a pesar de todo lo dicho, no existe unanimidad en cuanto a la acción del óxido de carbono sobre el organismo. Unos, como Gepper, Glaister y Logan, admiten una acción específica sobre el sistema nervioso, de modo que la respiración que sigue a la absorción del óxido de carbono difiere, materialmente, de la que se observa en los casos de asfixia lenta por falta de oxígeno. Haldane, al contrario, atribuye todos los efectos a la saturación de la sangre con el óxido de carbono.

Dejando a un lado esta cuestión, que cae fuera de nuestra competencia, es cierto que retirada la víctima de la atmósfera nociva, y colocada en un medio que no contenga óxido de carbono, la oxicarbohemoglobina empieza a descomponerse y el óxido de carbono a ser eliminado. La disociación es más rápida si se hace respirar al paciente oxígeno puro, hasta el punto de que el Dr. Mosso preconiza el empleo de grandes campanas para colocar en su interior al obrero víctima de la intoxicación y hacerle respirar oxígeno a presión.

Sin que esto sea restar méritos a los trabajos de Mosso y Haldane, sino que, al contrario, reconocemos que los tienen, y muy

grandes, por la mayor amplitud de sus experimentos, la prescripción del empleo del oxígeno en las intoxicaciones por el óxido de carbono data de 1854, en que MM. Favre y Gianetti presentaron a la Academia de Ciencias de París una corta nota en que recomendaban dicho tratamiento. En 1868 ya empieza a figurar en los prontuarios de medicina el empleo del oxígeno, pero es, realmente, a Mosso y Haldane a quienes se debe el resucitar cuestión tan importante, que dió lugar a que se publicasen trabajos interesantísimos sobre el óxido de carbono, entre los cuales merecen citarse el de M. Nicloux (1), que estudia la relación entre la saturación de la sangre de la madre y la del feto, y otros que revelaron la presencia del óxido de carbono en la sangre en los habitantes de las grandes poblaciones, y que deben considerarse como los verdaderos precursores de los trabajos actuales en esta materia. Pero la ciencia tiene también sus modas, y a esta actividad sucedió un período de relativa calma hasta que en 1905 vuelve a tomar actualidad la cuestión del óxido de carbono, para perderla al ípoco tiempo y no resurgir sino cuando la Gran Guerra, con su secuela de altos explosivos y gases asfixiantes, le dió una importancia que hasta entonces no había alcanzado

(1) Comptes rendus de l'Academie des Sciences, 17 junio 1901.

nunca. Ha sido, pues, durante la guerra cuando el aspecto de esta cuestión que puede interesarnos, tratamiento de intoxicados, medios prácticos de descubrir pequeñas cantidades de óxido de carbono en el aire y mascarillas con absorbentes de dicho gas, ha logrado un perfeccionamiento tal que, ciertamente, no podía esperarse.

El gran número de intoxicados tratados durante la guerra ha demostrado que, aun habiendo llegado la saturación a 65 por 100, puede eliminarse la casi totalidad del óxido de carbono contenido por la sangre respirando de seis a ocho horas oxígeno puro; al cabo de este tiempo la hemoglobina presenta la misma actitud para el transporte de oxígeno a los tejidos que si el individuo no hubiese sido víctima de tal intoxicación. Claro es que para ello es preciso que los trastornos patológicos que la falta de oxígeno puede haber determinado no sean de tal intensidad que ni una gran proporción de oxígeno ni ningún tratamiento pueda reparar el daño sufrido por las células nerviosas.

Existe una gran diferencia entre el tratamiento con aire puro, o con oxígeno, de los intoxicados por el óxido de carbono, como lo demuestran los siguientes experimentos llevados a cabo por Gréhant (1) exponiendo un

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, 4 marzo 1901

perro a la acción de una atmósfera conteniendo 1 por 100 de óxido de carbono.

Tratamiento con aire puro.

Cien centímetros cúbicos de sangre contienen:

CO ₂	O	CO	
34,3	2,9	18,1	al cabo de quince minutos de intoxicación;
36,8	10,5	10,5	al cabo de una hora de respiración de aire puro;
37,5	15,5	5,4	al cabo de dos horas, y
42,4	16,6	4,5	al cabo de las tres horas.

Tratamiento con oxígeno de 90,3 por 100.

Cien centímetros cúbicos de sangre contienen:

CO ₂	O	CO	
15,6	2,2	16,2	al cabo de trece minutos de intoxicación;
29,0	14,0	5,2	al cabo de quince minutos de respirar oxígeno;
33,3	12,0	3,4	al cabo de treinta minutos, y
40,6	18,8	1,1	al cabo de una hora.

Se ve por la comparación de los dos cuadros que si se hace respirar a un animal en-

venenado y amenazado de muerte oxígeno al 90 por 100, al cabo de un hora, cien centímetros cúbicos de sangre arterial contienen: 18,8 de oxígeno y solamente 1,1 de óxido de carbono; mientras que respirando aire puro, después de una intoxicación semejante a la anterior, y al cabo de tres horas, o sea de un tiempo triple, cien centímetros cúbicos de sangre contienen 16,6 de oxígeno y 4,5 de óxido de carbono, es decir, cuatro veces más que después de una hora de tratamiento con oxígeno. La eliminación y la desaparición del veneno es, pues, considerablemente acelerada por el empleo del oxígeno, el cual se impone en el tratamiento de la intoxicación oxicarbónica.

El único inconveniente que se señaló al tratamiento con oxígeno puro fué la probable intoxicación por el oxígeno, pero se ha comprobado que no existe inconveniente en respirar este gas dos o tres horas diarias durante un tiempo largo, y buena prueba de ello la han suministrado los trabajos de reconquista de minas, haciendo uso de los aparatos respiratorios a base de oxígeno. Pre-disponía en contra del empleo de dicho gas la vieja idea de que puede determinar un estado congestivo sumamente peligroso. Sin embargo, la práctica del tratamiento no ha acusado la existencia de este peligro.

Una sola precaución aconseja tener en

cuenta el Dr. Tezenas de Monted (1) cuando se emplean las inhalaciones de oxígeno puro y es la de no prolongar durante más de dos horas consecutivas la aplicación de las mascarillas si se quieren evitar quemaduras de la boca y de las primeras vías respiratorias. Una corta interrupción en el suministro de oxígeno, sin dejar de aplicar a la víctima la respiración artificial con aire puro, evita aquel inconveniente y permite reanudar la inhalación de oxígeno puro.

Hemos sido testigos del tratamiento de un obrero, Modesto Cruz, que en un accidente ocurrido en la mina Cabeza de Vaca, el 1.º de mayo de 1914, fué retirado de la mina en un estado tal de gravedad, que se temía, muy fundadamente, su muerte. Se le hizo respirar durante seis horas oxígeno puro, de ellas, tres, aplicándole la respiración artificial, reaccionando algo al cabo de las siete horas y no recobrando el conocimiento sino nueve horas después de retirado de la atmósfera nociva. Al día siguiente se encontraba perfectamente, como si no hubiera sufrido ningún accidente.

Henderson y Haggard han demostrado que se activa la eliminación del CO de la oxicarbohemoglobina incorporando al oxígeno puro

(1) Revue de l'Industrie Minerale, núm. 226, 15-5-1930.

5 por 100 de ácido carbónico, cuyo efecto es excitar los centros nerviosos respiratorios. La

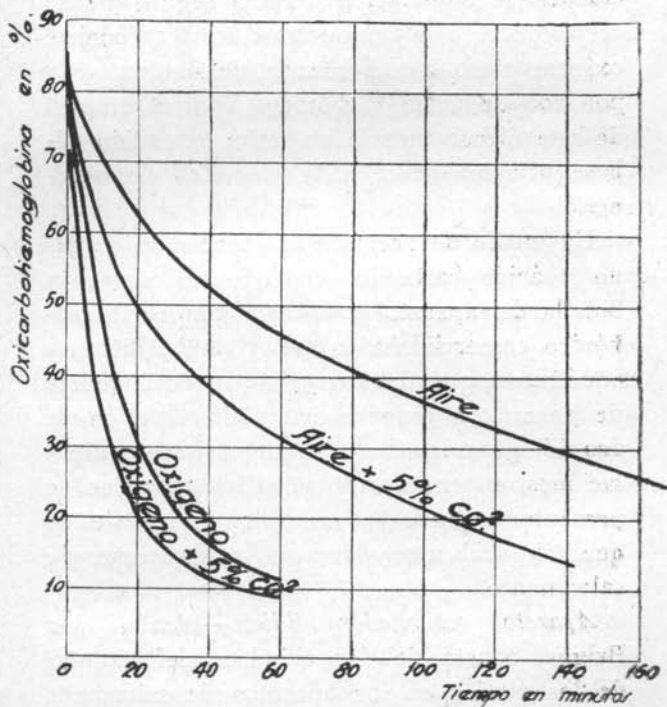


Fig. 1^a.

influencia de esta adición es, como revela la fig. 1.^a, muy sensible al principio, pero el resultado obtenido al cabo de una hora es el mismo, ya se opere con oxígeno puro o con

la mezcla de 5 por 100 de oxígeno y 5 por 100 de ácido carbónico.

En dicha figura pueden apreciarse las velocidades de eliminación del CO según que se respire, aire con 5 por 100 de ácido carbónico, oxígeno puro o una mezcla de oxígeno y 5 por 100 de ácido carbónico. Y si el empleo de esta última mezcla no se ha extendido débese principalmente a la dificultad de obtenerla.

Un medio de preparar la mezcla de oxígeno y ácido carbónico consiste en cargar la botella del aparato *resucitador* con ácido carbónico comercial hasta que el manómetro de aquélla marque 6 kilogramos y terminándola de llenar con oxígeno hasta una presión de 120 kilogramos. Claro es que estas manipulaciones, al parecer tan sencillas, no dejan de presentar peligros y requerir un utillaje de que sólo suele disponerse en las estaciones de salvamento.

Aparato resucitador Edina.—Ideado por Briggs, consta de dos cilindros del tamaño de los usados en los aparatos de salvamento, conectados por el intermedio de una válvula con un saco respiratorio y una mascarilla. Esta mascarilla está provista de una válvula que permite al abrirla respirar aire.

Para preparar la mezcla de oxígeno y ácido carbónico, Briggs emplea cápsulas que contienen 120 miligramos de ácido carbónico

líquido y que introduce en el dispositivo representado en la figura 2.^a La perforación

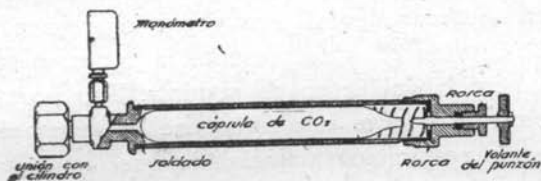


Fig. 2.^a

de la cápsula la produce un punzón al que se hace avanzar por medio del pequeño volante que aparece a la derecha de la figura.

Un muelle, visible también en la figura, aplica la cápsula contra el fondo del cilindro, que por medio de una tuerca de enlace se une al cilindro del aparato resucitador. Terminado el vaciado de la cápsula se retira este dispositivo y se inyecta después en el cilindro el oxígeno necesario para llevar a 120 kilogramos la presión de la mezcla.

Volviendo al punto en que dejamos este estudio para describir el aparato Edina, diremos que una precaución de gran valor es la de aplicar al paciente algún calor externo, debido al estado de hipotermia en que cae, y también es de gran importancia el tener en cuenta la gran facilidad con que se puede provocar un colapso, seguido a veces de muerte, al trasladar al paciente de un medio a otro que se encuentre a menor temperatura.

Los obreros víctimas de intoxicaciones por el óxido de carbono deben ser objeto de una constante vigilancia por la facilidad con que son víctimas de colapsos y por la frecuencia con que en ellos se presenta la apnea, o sea la pérdida del deseo de respirar. Tan pronto como se observe esto último se les debe aplicar la respiración artificial, lo que, como sabemos, puede hacerse manual o mecánicamente, pero siempre que sea preciso recurrir a ella debe aplicarse haciendo respirar al paciente oxígeno puro.

Dos son los métodos de aplicar manualmente la respiración artificial: el de Sylvester y el de Schaefer, siendo hoy día este último el más empleado, a causa de las muchas ventajas que presenta sobre el de Sylvester, por su mayor sencillez, que exige menos práctica, y porque dada la posición de la víctima la lengua no puede obstruir el paso del aire. A más, no son de temer las lesiones de hígado, y la cavidad torácica presenta el volumen máximo a causa de la posición de los brazos.

Método Schaefer.—Su forma de aplicación es la siguiente (1):

La víctima se coloca en el suelo, boca abajo, con los brazos extendidos hacia adelante y la cara vuelta a un lado. El operador, arrodillado, teniendo entre sus rodillas los mus-

(1) Dr. Sánchez Martín, Revista minera, núm. 2871.

los de la víctima y mirando a la cabeza de la misma, apoya las palmas de las manos sobre los lomos del paciente, con los pulgares casi juntos, y los otros dedos extendidos en los arcos de las costillas inferiores.



Fig. 3.ª

En esta posición, el operador, con los brazos mantenidos rectos, según se representa en la figura 3.ª, inclínase lentamente hacia adelante, haciendo que su cuerpo grave gradualmente sobre el paciente, hasta colocarse en la posición que representa la figura 4.ª Es-



Fig. 4.ª

te tiempo debe durar tres segundos y hacerse sin violencia para evitar lesiones en los órganos internos. Así se comprime la porción inferior de los pulmones y el abdomen, haciendo salir el aire de los pulmones.

Inmediatamente se inclina el operador hacia atrás, y, sin retirar las manos, hace recobrar la posición primera, la de la figura 3.^a Las paredes del pecho, libres de la presión, se expansionan por su elasticidad, y los pulmones se llenan de aire.

Un descanso de dos segundos y nueva presión, inclinándose el operador hacia adelante.

De esta manera se repite el doble movimiento de compresión y relajación doce veces por minuto, hasta conseguir que el paciente respire por sí solo y de una manera regular. La respiración completa debe durar cinco segundos.

Dicho compás puede seguirse sin necesidad de reloj, guiándose el operador por los movimientos de su propia respiración, haciéndola profunda.

Aparato de Panis.—Este aparato, llamado también “aparato R. A. P.”, permite aplicar el método de Schaefer sin la menor dificultad y sin ninguna fatiga del operador.

Consta (figura 5.^a) de un soporte, sobre el que se apoya la cara anterior del tórax de la víctima, y de dos hombreras móviles dispues-

tas de modo que le sostengan los brazos. Un soporte cóncavo permite apoyar la frente.

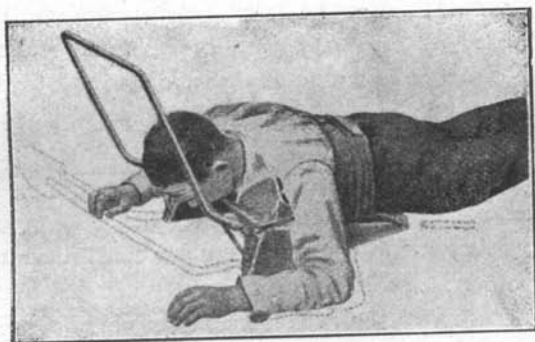


Fig. 5.ª

El asfisiado puede así arrojar sus vómitos y mucosidades, mientras que con la posición requerida por el método de Sylvester existe posibilidad de que obstruyan la faringe e impidan el acceso de aire a los pulmones.

Acostado el paciente sobre el aparato, y hecho solidario del mismo por medio de un ancho cinturón, un juego de palancas permite por un sencillo movimiento realizar tanto la inspiración como la espiración. Bajando la palanca se comprime el tórax sobre su soporte, oprimiendo los hombros, con lo que se logra la espiración. Por el contrario, al subir la palanca, por el esfuerzo de dos resortes y por la elasticidad torácica, eleva los hombros, mo-

viéndolos hacia afuera y un poco también hacia atrás, efectuándose la inspiración.

Por la descripción que antecede se comprende, que este aparato hace del hombre menos práctico un salvador útil en el momento en que su intervención es decisiva para la vida de la víctima.

Además, dicho aparato puede emplearse para dar la respiración artificial con oxígeno, aplicando a la víctima la mascarilla de Legendre y Nicloux, que describiremos a continuación, y poniendo ésta en comunicación con un saco respiratorio y un cilindro de oxígeno a presión. En estas condiciones, el aparato Panis se convierte en el auxiliar más racional y eficaz,

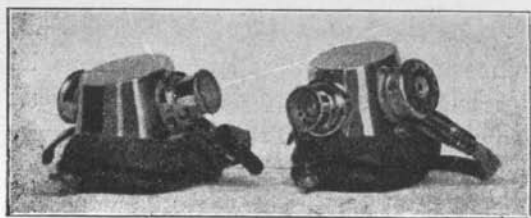


Fig. 6.*

ya que permite completar con inhalaciones de oxígeno los movimientos de la respiración artificial.

Mascarilla Legendre-Nicloux (1).—Esta mascarilla (figuras 6.* y 7.*) rodea solamente la

(1) Nicloux, *L'oxyde de carbone*, pág. 145.

nariz y la boca y se aplica exactamente a la cara gracias a una almohadilla neumática, que, sujeta por unas correas detrás de la cabeza,

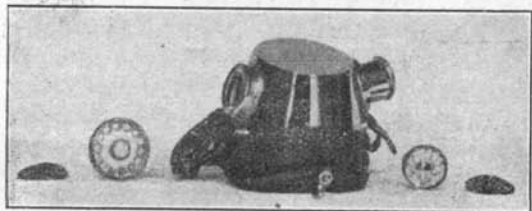


Fig. 7.ª

hace un cierre hermético. La mascarilla deja, pues, los ojos al descubierto, lo que permite su observación.

Está provista esta mascarilla de dos válvulas delgadas de caucho, una para la inspiración y otra para la espiración. Dichas válvulas tienen un pequeño diámetro, 23 milímetros, para que su movimiento no ofrezca resistencia y funcionen cualquiera que sea la posición de la víctima.

Para su uso se une a la válvula de inspiración un saco respiratorio, que hace el papel de regulador, y es alimentado por un cilindro de oxígeno a presión, cuyo gasto se regula por medio de una válvula (figura 8.ª).

Si la víctima no respirase espontáneamente la disposición de la figura 8.ª, combinada con el aparato Panis, constituye el medio más fácil y seguro de reanimar al asfixiado.

También puede emplearse esta mascarilla en muchos casos en que hay que trabajar en



Fig. 8.*

atmósferas tóxicas, en cuyas proximidades el aire es puro. Basta adaptar a la válvula de inspiración un tubo de longitud suficiente para respirar el aire puro y poder efectuar el trabajo sin peligro (tal puede ser el caso de gasistas, obreros de hornos altos, etc).

Aparato Hausmann para aplicar la respiración artificial.—La casa Hausmann ha paten-

tado un tipo de camilla que sirve para efectuar mecánicamente la respiración artificial por el método de Sylvester.

Consiste en una mesa, 1-1.ª (figura 9.ª), so-

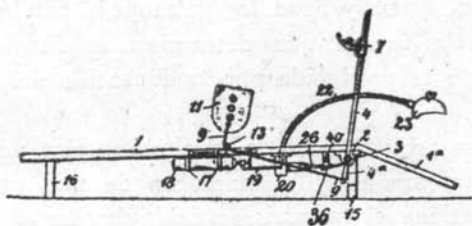


Fig. 9.ª

bre la que se coloca al paciente, sujetando sus muñecas a las piezas 7, que pueden fijarse a la altura debida en las palancas 6. Sobre el abdomen de la víctima se deja descansar la pieza 11, unida por el intermedio de un cable al extremo inferior de las palancas 6. A la cara del obrero se aplica la careta 23, que por el intermedio del tubo flexible 22 y del difusor 20 comunica con la botella de oxígeno 20. El difusor está provisto de una válvula que se maniobra también con las palancas 6. Fácil es ya darse cuenta del funcionamiento del conjunto: al bajar las palancas 6 hacia la derecha de la figura, se dilata el pecho y tiene lugar la inspiración, y al moverlas en sentido contrario se bajan los brazos del paciente, al par que se le comprime el abdomen, teniendo lugar la espiración.

Pulmotor Draeger.—Este aparato practica la respiración artificial de un modo completamente mecánico, bastante complicado, automático, y, por tanto, brutal, valga el calificativo. Vacía y llena los pulmones brutalmente y la fuerza que determina su funcionamiento es producida por la dilatación del oxígeno.

Tan pronto como la víctima respira por sí misma, una sencilla maniobra de una palanca detiene el mecanismo del pulmotor y permite al asfixiado respirar oxígeno puro.

Resucitador Bratt.—Es un aparato muy semejante al anterior, del que difiere en que los movimientos son hechos a mano.

Lungmotor.—Resucitador inglés que consiste en una bomba con dos pistones y accionada a mano. Uno de los pistones llena su cilindro de oxígeno en su movimiento ascendente y al descender lo inyecta en los pulmones. Los mismos movimientos del otro pistón vacían los pulmones y expulsan a la atmósfera el oxígeno respirado.

Actúan los tres aparatos que acabamos de describir de un modo brutal, como hemos apuntado antes, y presentan el peligro de poder determinar lesiones permanentes de los órganos respiratorios. Por ello no hemos sido nunca partidarios de su empleo y encontramos muy acertada la prohibición de su uso decretada por algunos países.

En cambio, consideramos como el mejor medio de administrar oxígeno el empleo simultáneo del método Schaefer y el resucitador *Edina*, ya descrito, o el aparato *Novita*, que vamos a describir a continuación.

Resucitador Novita.—Consta (fig. 10) de un

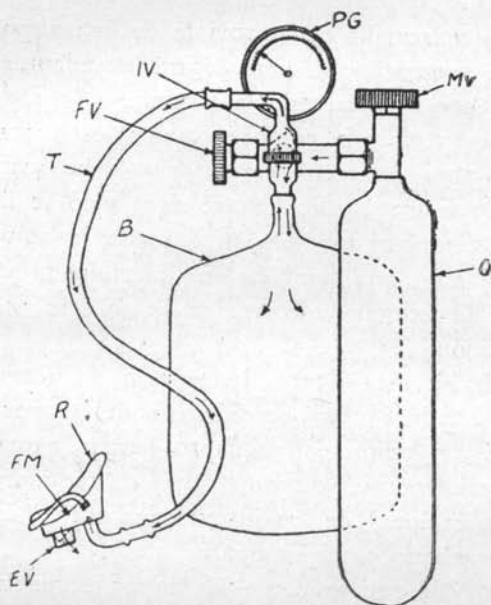


Fig. 10.

cilindro O, lleno de oxígeno a 120 atmósferas y del tipo unificado para los aparatos de salvamento.

El cilindro lleva la válvula principal MV, que regula la salida del oxígeno a la presión

indicada por el manómetro PG. Otra válvula, FV, permite regular la admisión de oxígeno en el saco B, del que pasa, a través de una válvula de mica IV, al tubo flexible T que desemboca en la mascarilla FM. El aire respirado sale a la atmósfera mediante la válvula EV.

La mascarilla está provista de una almohadilla neumática R, para lograr su adaptación perfecta a la cara de la víctima.

Tanto en éste como en todos los aparatos provistos de saco respiratorio, debe mantenerse éste a medio llenar: si el saco se llena por completo no sólo se dificulta la respiración, sino que también se determinan pérdidas de oxígeno a través de la válvula de espiración.

Hecha esta ligera descripción de aparatos resucitadores, por considerarla del mayor interés, y resumiendo cuanto hemos expuesto anteriormente, diremos que el tratamiento más racional de los intoxicados por el óxido de carbono es el siguiente:

- 1.º Se retirará, con la mayor urgencia, al obrero atacado de la atmósfera nociva, evitando su enfriamiento.

- 2.º Si el obrero ha perdido el conocimiento, se le hará respirar oxígeno puro hasta hacerle reaccionar, y se le aplicarán botellas con agua caliente, ladrillos, o bolsas llenas de arena caliente en las plantas de los pies, so-

bre el estómago y bajo las axilas, ayudando la circulación de la sangre, friccionándole fuertemente las piernas en dirección de abajo a arriba.

3.º Cuando el obrero reaccione y recobre el conocimiento se le puede dejar respirar aire puro, pero reanudando el suministro de oxígeno tan pronto como se vea que decae la respiración.

4.º Se evitará que el paciente se duerma para que no caiga en un estado comatoso favorable a los colapsos, que pueden determinar la muerte.

5.º Se le retendrá en la mina el tiempo necesario hasta que desaparezcan los síntomas más graves y se normalice el funcionamiento del corazón.

6.º Como estimulante se empleará el café caliente, no el café con leche. Se prohibirá el empleo del alcohol (cognac, jerez, etc.), pues su último efecto sobre el organismo es contribuir a bajar su temperatura.

7.º Durante la guerra se ha comprobado la gran eficacia de las inyecciones hipodérmicas de estricnina.

8.º En las intoxicaciones de carácter leve, y para aliviar al paciente de los dolores de estómago que frecuentemente le aquejan, se le puede dar algún vomitivo. Sin embargo, deben administrarse con mucha prudencia, a causa

de la facilidad con que pueden provocar un colapso.

9.º Debe evitarse el empleo de la aspirina, fenacetina, etc., contra los fuertes dolores de cabeza de que son víctimas los intoxicados, a causa de la acción de dichas drogas sobre el corazón.

10. He encontrado siempre un gran alivio cuando, habiendo sido atacado por el óxido de carbono, he aspirado por la nariz un poco de éter, razón por la cual he aconsejado su empleo, acompañado siempre de éxito, pues con él he logrado hacer reaccionar rápidamente a individuos que habían llegado ya al período de pérdida del conocimiento; y

11. Procurar mantener a la víctima en un reposo absoluto, pero sin dejarla dormir, hasta que haya desaparecido todo síntoma grave.

También aconseja el Dr. Coles inyectar hipodérmicamente grandes cantidades de oxígeno en los muslos y abdomen.

Recientemente se ha introducido la aplicación de inyecciones de lobelina. Pero tratándose de un punto sobre el que no tengo competencia alguna me limitaré a traducir parte de un interesante estudio publicado por Delmas en el número 256 de la Revue de l'Industrie Minérale.

Inyecciones de Lobelina.—Al mismo tiempo que se provoca la respiración por medios mecánicos hay interés, como hemos indicado, en

excitar los centros nerviosos respiratorios. Es con este objeto por lo que se practicaban otras veces, al mismo tiempo que el método de Sylvester, tracciones rítmicas de la lengua, y por lo que se recomienda mezclar al oxígeno utilizado para las inhalaciones una cierta proporción de ácido carbónico. Con el mismo fin se emplean las inyecciones de lobelina en los Estados Unidos y en Alemania. A continuación exponemos, sigue diciendo Delmas, las indicaciones que el profesor Policard nos ha dado acerca de este tratamiento.

La lobelina, alcaloide extraído de la lobelia, es una substancia que produce una acción excitante sobre ciertos centros nerviosos del bulbo y sobre el sistema simpático. Esto ha determinado su empleo en las asfixias por parálisis del centro bulbar de la respiración (asfixias por intoxicación grave debida al óxido de carbono, morfina, cloroformo, etc.)

Como consecuencia de las investigaciones metódicas llevadas a cabo estos últimos años, especialmente en Alemania y Estados Unidos, sobre la acción respiratoria de la lobelina, se puede, entre numerosos datos contradictorios, citar los hechos siguientes, que son la base del empleo práctico de esta substancia.

La acción excitante de la lobelina, acción que se trata de utilizar, no tiene lugar sino entre ciertas dosis límites. Dosis pequeñas no producen efecto; en dosis demasia-

do grandes ejerce una acción no ya excitante, sino que, al contrario, tiende a paralizar el centro respiratorio. Este hecho, bastante frecuente para muchos alcaloides, es de capital importancia en la práctica.

La dosis límite para la cual la acción excitante se convierte en paralizante, varía según los individuos. Varía también según que el centro respiratorio sea normal, o al contrario esté más o menos intoxicado. Una dosis estimulante para un individuo puede ser deprimente para otro. Una depresión del centro respiratorio debida a un tóxico puede favorecer la acción deprimente. Así se explica que, en intoxicaciones producidas por el cloroformo, la lobelina ha sido causa de desastres al acentuar la depresión respiratoria y la asfixia. Por el contrario, en las intoxicaciones de morfina, el centro respiratorio reacciona mejor a la acción excitante: la lobelina ha dado en estos casos resultados excelentes. Los hechos experimentales y clínicos observados hasta ahora muestran de un modo general que si la lobelina actúa enérgicamente sobre el centro respiratorio no se la puede considerar como un estimulante específico ideal de este centro a causa:

- 1.º De la acción deprimente que determina sobre otros centros nerviosos y sobre el corazón, acción que puede ser frecuentemente

muy perjudicial al restablecimiento de la víctima en estado de depresión respiratoria.

2.º Del hecho de ser poco manejable, ya que las dosis terapéuticas excitantes son poco diferentes de las dosis tóxicas, y las sensibilidades individuales para esta substancia son muy variables, pues una dosis estimulante para un individuo puede ser deprimente para otro.

Sin embargo, y a causa de la extrema gravedad de las intoxicaciones por el óxido de carbono, está justificado el empleo de la lobelina como medicamento heroico, tomando las precauciones siguientes:

1.ª No pasar de una dosis de 3 miligramos por vía intravenenosa y de 6 por vía hipodérmica. Esta dosis puede repetirse, pero por lo menos debe dejarse transcurrir media hora después de la primera aplicación, no perdiendo nunca de vista que una dosis demasiado fuerte puede producir un efecto contrario al que se pretende.

2.ª No prescindir de emplear al mismo tiempo el tratamiento clásico con oxígeno o mejor aún con la mezcla de oxígeno y ácido carbónico, ya que la lobelina sólo actúa sobre la depresión del centro respiratorio consecuencia de la intoxicación de las células nerviosas por el óxido de carbono, y no produce ningún efecto sobre los desarreglos derivados de la fijación del óxido de carbono por la sangre.

3.ª Las intoxicaciones leves no justifican el

empleo de la lobelina, medicamento peligroso, como hemos indicado, siendo preferible abstenerse de emplearla en estos casos.

Termina el Dr. Policard aconsejando anotar cuidadosamente los resultados obtenidos, que permitirán decidir al cabo de algún tiempo si debe generalizarse el empleo de la lobelina o si, por el contrario, conviene prescindir de este método, del que no se posee actualmente una suficiente experiencia clínica.

En cambio, se han obtenido los mejores resultados inyectando hipodérmicamente grandes cantidades de oxígeno.

Mencionaremos solamente la posibilidad de aplicar inyecciones intravenosas, que no ofrecen peligro, ya que la embolia gaseosa no es de temer con el oxígeno, que a medida que se inyecta se fija sobre los glóbulos rojos; pero esta inyección no puede ser aplicada sino por el médico, al que en casos graves no es posible esperar para iniciar el tratamiento de la víctima.

Al contrario, la inyección subcutánea puede ser aplicada por un enfermero y aún por persona algo ejercitada.

Se puede, en caso de urgencia, practicar esta inyección adaptando una aguja al tubo de escape de un balón de oxígeno y comprimiendo éste.

Se puede emplear también el oxigenador de Lian y Navarre, compuesto de un balón de cau-

cho que puede adaptarse a una botella de oxígeno, y de una jeringa especial de 100 centímetros cúbicos que, por un doble juego de llaves, puede aspirar el oxígeno del balón e impulsarlo por un tubo de caucho terminado por una aguja.

Se puede, finalmente, y en un caso extremo, preparar el oxígeno por la descomposición del agua oxigenada por el bicromato potásico. Basta verter en un frasco de 60 centímetros cúbicos, 20 centímetros cúbicos de agua oxigenada y un comprimido de bicromato potásico para que se desprenda oxígeno en cantidad suficiente para llenar una jeringa de 100 centímetros cúbicos, y para que, aplicando a ésta una aguja, después de llenarla, se pueda proceder a efectuar una inyección bajo la piel del vientre o en la cara externa de la cadera.

Así pueden inyectarse de 400 a 500 centímetros cúbicos de oxígeno, y la inyección puede repetirse tan pronto como sea reabsorbido el oxígeno inyectado.

Algunos autores recomiendan también la transfusión de sangre, y aunque la teoría lo aconseja, considerando este método de tratamiento desde el punto de vista práctico, nos vemos obligados a prescindir de él por exigir un material *ad hoc*, un tiempo bastante largo para practicarlo y el traslado de la víctima a una clínica, y damos tanta importancia al

factor tiempo que consideramos como un grave error, que conduce a veces a funestos desenlaces, el trasladar la víctima a la sala de curas.

Téngase siempre presente que al caer una persona intoxicada por el óxido de carbono debe trasladársela inmediatamente al sitio más próximo en que el aire sea puro, y empezar a aplicarle la respiración artificial y demás cuidados antes indicados. Avisar al médico y no efectuar el traslado de la víctima al hospital sino cuando el médico lo autorice o se logre restablecer la respiración, en una palabra, cuando la víctima respire por sí sola.

Por último, y teniendo en cuenta que en los casos graves de intoxicación el pulso se debilita tanto que llega a hacerse casi imperceptible, se debe tener mucho cuidado al diagnosticar la muerte, y, por tanto, no debe dejarse de aplicar a la víctima la respiración artificial hasta ser reconocida por un médico y certificada su defunción.

CAPITULO VIII

¿Puede llegar el CO a determinar intoxicaciones crónicas?

Teniendo en cuenta las creencias tan erróneas que durante mucho tiempo se han tenido sobre la acción progresiva del CO, vamos a dedicar algún espacio a tema tan interesante como es el de la intoxicación crónica; es decir, a aquella intoxicación que motivaría la absorción del CO en dosis mínimas, pero repetidas.

Empecemos haciendo notar que la existencia de la intoxicación crónica ha sido objeto de mucha controversia.

Se ha atribuído a esta forma de envenenamiento una sintomatología insospechada: dolores de cabeza, torpeza intelectual, astenia, abulia, amnesia, somnolencia diurna e insomnio nocturno, alucinaciones y delirio, desarreglos digestivos, opresión, vértigos, neuralgias rebeldes, temblores, crisis convulsivas, parálisis, albuminuria, glicosuria, tuberculosis pulmonar, en una palabra, toda la patología.

Para unos autores, entre los que figuran Courmónt, Morel y Mouriquant, los síntomas, que al principio desaparecen rápidamente,

cuando los intoxicados respiran aire puro, a la larga se harían permanentes. Además las primeras intoxicaciones crearían en el sujeto un estado particular de receptividad que lo haría más sensible en el caso de nuevas exposiciones a los efectos del CO.

Otros, como Balthazard, que no cree en la toxicidad del CO, sino que atribuye su acción nociva a la anemia, opinan que la pequeña proporción de CO que en tales casos se encuentra en la sangre se elimina tan pronto como la víctima respira aire puro; que el gas no destruye al glóbulo rojo, como suponía Brouardel, sino que puede decirse que lo conserva, y no se explican cómo podrían persistir los efectos de la intoxicación durante tanto tiempo, después de desaparecida la causa pasajera que los produjo. Se creía antiguamente, como ya antes hemos indicado, que la sangre de un sujeto encerrado en un local cuya atmósfera contuviese algo de CO se cargaba indefinidamente de gas tóxico hasta agotar toda traza de CO en el aire. Pero hoy sabemos que el mecanismo de la intoxicación es muy distinto, y que la absorción de CO cesa al alcanzar la sangre el grado de saturación correspondiente al porcentaje de dicho gas en el aire respirado, no pudiendo encontrar en la sangre una proporción de CO superior a la que contiene la atmósfera ambiente.

Finalmente, otros autores admiten que la

exposición repetida al CO equivale a una sucesión de intoxicaciones subagudas que se producen durante las horas que el sujeto permanece en el medio contaminado, cesando al salir y reproduciéndose al entrar en él nuevamente. A la larga, dicen ellos, podría determinarse un estado de anemia que exigiese tratamiento, pero de ninguna manera cabe atribuir a la intoxicación oxcarbónica lesiones viscerales que no han podido reconocerse nunca en los animales sometidos a la acción brutal y prolongada del CO. Habría que buscar a dichas lesiones un origen bien distinto de la intoxicación.

Aun cuando se trata de cuestión fuera de nuestra especialidad, y no nos consideramos con autoridad para emitir un juicio definitivo, nuestra práctica de mina (cuatro años y medio de lucha continua con fuegos subterráneos, en la cuenca de Bélmez y Peñarroya y ocho años de permanencia en fábrica en la que se producen gases cargados de CO) nos ha permitido recoger algunas observaciones. Así estamos convencidos de que la exposición repetida al CO determina un estado especial de receptividad que hace más sensible al sujeto a los efectos de dicho gas. Por esto, y siempre que hemos escrito algo sobre fuegos subterráneos, hemos aconsejado la renovación del personal empleado en la lucha. Añadamos que no conocemos ningún caso de

intoxicación crónica que haya exigido tratamiento.

Sin embargo, y con el fin de alejar todo peligro, es aconsejable que todos aquellos obreros que, por la índole de su trabajo, se ven obligados a respirar atmósferas que puedan contener algo de CO (gasistas, horneros, etc.), tomen dos gramos de hiposulfito sódico disueltos en un vaso de agua, repitiendo las tomas tres o cuatro veces en las veinticuatro horas si la exposición es muy repetida.

CAPITULO IX

Generalidades sobre los métodos de análisis de aire que contenga óxido de carbono.

Es innegable, y digno de las mayores alabanzas, el esfuerzo realizado por los químicos para encontrar métodos rápidos de análisis de aire; los métodos de laboratorio habían llegado ya a un grado extremo de precisión, pero no bastaba esto. Era preciso poner al alcance de quienes tienen que trabajar en atmósferas sospechosas un medio, a la par sencillo y rápido, que les permitiera ponerse en guardia oportunamente y antes de que llegasen a ser víctimas de un accidente.

Tampoco puede negarse la orientación práctica que la guerra europea dió a estos trabajos, lo que ha contribuído a que nos deje una serie de medios de prevenirnos y luchar con éxito contra los peligros del óxido de carbono, medios que permitirán economizar muchas vidas en tiempo de paz.

Aun cuando no nos detendremos en el estudio de los métodos de laboratorio, sí diremos que se clasifican en tres grupos. En el primero comprendemos aquellos en que el óxido de carbono es absorbido por un cuer-

po conveniente, sangre desfibrinada, óxidos metálicos, carbón, etc. En el segundo grupo incluimos los que utilizan ciertos cuerpos, tales como la esponja de platino, para catalizar la oxidación del óxido de carbono, dosificando el ácido carbónico formado o apreciando la elevación de temperatura, y, finalmente, el tercero lo integran los procedimientos basados en el empleo de agentes oxidantes del óxido de carbono.

Siendo nuestro objeto el exponer métodos prácticos y sencillos, que estén al alcance de todo el mundo y no requieran manipulaciones especiales, no podemos entrar en detalles de los métodos de laboratorio, aunque sí insistiremos algo en los que emplean la sangre como absorbente, pues al exponer los principios en que se basan, precisaremos aun más los conceptos expuestos al tratar de la toxicidad del óxido de carbono.

Ya hemos indicado que la combinación del oxígeno y del óxido de carbono con la hemoglobina de la sangre es regida por la ley de Guldberg y Waage. Este principio, que constituye el fundamento del ensayo al carmín debido a J. B. y J. B. S. Haldane (1), puede traducirse en la ecuación siguiente:

$$\frac{(100-y)x}{y(100-x)} = k$$

(1) The Journal of Physiology, XLIV, pág. 275.

en la que x y $100 - x$ representan las proporciones de óxido de carbono y oxígeno en el aire, considerando dichos gases como únicos componentes de éste, e y y $100 - y$, las proporciones de hemoglobina oxicarbonica y oxigenada de la sangre.

Dicha ecuación, que puede ponerse bajo la forma

$$y = \frac{100 x}{x(1-k) + 100 k}$$

representa una hipérbola equilátera pasando por el origen, y cuyas asíntotas son

$$x = -\frac{100 k}{1-k}$$

$$y = \frac{100}{1-k}$$

El valor de k es constante para cada especie animal, lo que está de acuerdo con los experimentos llevados a cabo por Krogh, Douglas y Haldane. Así $k = 0,0045$ para el cerdo, $k = 0,00316$ para el perro, y en el caso del hombre la hipérbola correspondiente es la representada en la fig. 11.

Con el empleo de dicha curva, y apreciado el grado de saturación de la sangre, es fácil deducir la proporción normal de oxígeno, para lo cual está graduado el eje de las xx (1).

(1) La técnica de estos métodos de ensayo está expuesta con toda claridad en la obra *Práctica de análisis de gases*, de mi querido compañero D. Luis Torón.

También indicamos anteriormente que la determinación de la proporción de óxido de carbono empleando la sangre de un animal que haya estado expuesto a sus efectos el

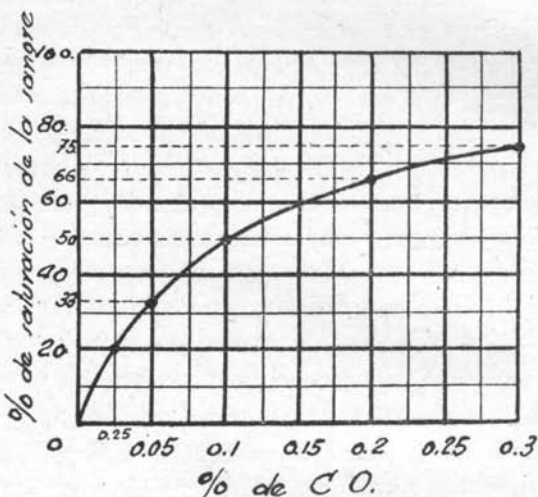


Fig. 11.*

tiempo suficiente para alcanzar el correspondiente grado de saturación está sujeta a error y es distinta, menor, que la obtenida empleando sangre normal saturada con una muestra del aire a analizar. Así lo demuestran los experimentos de M. Nicloux(1), que operando con un perro expuesto a la acción

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 158, pág. 363.

'del óxido de carbono, adicionado a una atmósfera de oxígeno puro o de aire normal, obtuvo los resultados indicados en el cuadro, los cuales nos muestran que las cantidades de óxido de carbono fijadas por la sangre *in vitro* son mayores, debido, sin duda, de un lado, a la diferencia de temperatura a que tiene lugar la saturación, y, de otro, a que en el animal vivo la influencia, ya indicada, de las células epitelarias puede contribuir a que el equilibrio se establezca más rápidamente, con un grado menor de saturación, ya que la reversibilidad de la reacción puede permitir que el oxígeno desaloje parte del óxido de carbono fijado.

	Por ciento de CO	Proporción relativa de CO	Tiempo necesario para el equilibrio.	Por ciento de oxicarbohemoglobina.	
				In vivo	In vitro (1)
Oxígeno puro.	1	1	30 minutos . . .	75,1	76,4 (a)
	0,5	0,5	Una hora 30 m .	58,0	61,0 (a)
	0,25	0,25	Una hora 45 m .	38,0	44,2 (b)
	0,1	0,1	Dos horas	20,0	24,05 (b)
Aire con el 10,5 % normal de O. . . .	0,105	0,5	Dos horas 30 m .	59,5	61,0 (a)
	0,0525	0,25	Cuatro horas . .	42,0	44,2 (b)
	0,021	1,0	Cinco horas 30 m.	22,0	24,05 (b)

Cuanto venimos diciendo confirma la poca importancia que tiene el conocimiento de la

(1) En el caso *in vitro* los resultados indicados con (a) son obtenidos experimentalmente, y los (b), deducidos por cálculo.

proporción de óxido de carbono existente en una atmósfera sospechosa *si no se conoce la del oxígeno*. Examinando el cuadro, vemos que el mismo grado de saturación, 58 por 100, por ejemplo, se obtiene respirando oxígeno con 0,5 por 100 de óxido de carbono o un aire con la proporción normal de oxígeno y que contenga sólo un 0,1 por 100 de óxido de carbono.

Terminaremos, pues, esta parte estableciendo:

1.º Que nada podemos deducir del conocimiento de la proporción de óxido de carbono en una muestra de aire si no conocemos la del oxígeno, salvo cuando se trate de proporciones peligrosas de óxido de carbono aún para un aire que contenga la proporción normal de oxígeno.

2.º Que para una mezcla dada, y que no sea normal, de aire y óxido de carbono, este gas es fijado por la sangre hasta alcanzar un cierto grado de saturación, que no puede ser traspasado en tanto que no se varíe la proporción relativa de oxígeno y óxido de carbono; y

3.º Que la reacción que conduce a la formación de la oxicarbohemoglobina es reversible, y, por tanto, que el oxígeno desaloja al óxido de carbono de dicha combinación, lo que hace del oxígeno el mejor medio terapéutico de combatir las intoxicaciones producidas

por el óxido de carbono, según ya hemos indicado.

Varios son los métodos basados en el empleo de la sangre para determinar cualitativa o cuantitativamente la presencia del óxido de carbono en el aire. Hoy día los más usados son el de Haldane y el espectroscópico, que de método cualitativo, muy rápido y sensible, ha pasado a la categoría de método cuantitativo, que puede dar una aproximación hasta de un décimo de la ley de óxido de carbono (1), si bien requiere cierta práctica. Sin embargo, ninguno de dichos métodos puede ser empleado por un simple minero, lo que hace que no nos detengamos en su exposición.

Entre los absorbentes del óxido de carbono hemos citado también los óxidos metálicos, y conviene que fijemos nuestra atención en algunos de ellos por las aplicaciones prácticas de que han sido o pueden ser objeto.

Oxido de plata.—El experimento base del empleo del óxido de plata se debe a Berthelot, que demostró que el nitrato de plata, en disolución amoniacal, es reducido por el óxido de carbono en frío, y, sobre todo, a la temperatura de ebullición. Gautier dió a conocer después la propiedad que tiene el óxido de plata húmedo de absorber el óxido de carbono, convirtiéndose en un polvo negruzco, amor-

(1) Kohn Abrest, *Technique sanitaire et municipale*, abril 1921, página 88.

fo, que se conduce como un carbonato de óxido de plata, verificándose la reacción siguiente:



Si el precipitado se trata con ácido sulfúrico, obtiéndose plata metálica, según indica la reacción



La absorción tiene ya lugar poniendo la fase sólida en presencia de la fase gaseosa, con la particularidad de que el óxido de plata, seco y a la temperatura ordinaria, es reducido a plata metálica por el CO, que a su vez pasa a ácido carbónico, según la reacción



acompañada del desprendimiento de calor, que puede hacer alcanzar al óxido de plata la temperatura de 130°, con lo que se aumenta notablemente la velocidad de la reacción. En ocasiones, ésta se inicia tan lentamente que es preciso calentar el óxido de plata a 40 ó 50°. Si se le emplea en suspensión en el agua tiene también lugar su reducción, pero la reacción es muy lenta, a causa de que el calor desprendido emplease en calentar el agua, y se pierde en gran parte, con perjuicio evidente para la velocidad de la reacción.

Pues bien, Dejust y Ditte (1) han obser-

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 140, núm. 19.

vado que empleando una solución amoniaca que contenga diez gramos de óxido de plata por litro, la reacción es muy rápida, lo que les ha servido de base para el procedimiento que indicamos más adelante.

Hopcalita.—Como era natural, la propiedad que tienen algunos óxidos metálicos de absorber el óxido de carbono a la temperatura ordinaria no podía dejar de tener aplicación durante la guerra, y el resultado fué llegar a preparar una mezcla muy eficaz para ser empleada como absorbente en mascarillas especiales. Empezó usándose una mezcla de bióxido de manganeso y óxido de plata, después se recurrió a otra mezcla de dichos óxidos y el de cobalto, en las proporciones de 34, 46 y 20 por 100, respectivamente, para concluir empleando, a causa de su mayor eficacia, el producto llamado *hopcalita*, que consta de

Bióxido de manganeso.....	50 por 100
Oxido de cobre.....	30 " "
Oxido de cobalto.....	15 " "
Oxido de plata.....	5 " "

Cloruros metálicos.—Finalmente, y para terminar esta rápida enumeración, citaremos también que algunos cloruros metálicos tienen la propiedad de absorber el óxido de carbono, propiedad que ha sido utilizada por Po-

tin y Drouin (1) para construir un aparato muy práctico que utiliza como reactivo, para descubrir la presencia en el aire de pequeñas proporciones de óxido de carbono, una disolución de cloruro de paladio, acidificada con ácido clorhídrico. También el cloruro de oro y el cuproso figuran entre los absorbentes del óxido de carbono a la temperatura ordinaria.

El segundo grupo de los métodos de apreciación del óxido de carbono está integrado, según se ha indicado, por los basados en el empleo de agentes catalíticos tales como la esponja o negro de platino. A él pertenece el toxímetro Guasco sensibilizado, que no es otra cosa que un termómetro diferencial de Leslie, una de cuyas bolas está provista de cuatro prismas de negro de platino, que al catalizar la oxidación del CO contenido en el aire se calientan y determinan la subida de una columna de líquido coloreado a lo largo de una escala graduada. Más adelante nos ocuparemos de él con más detalle.

Por último, al tercer grupo pertenecen los métodos fundados en el empleo de agentes oxidantes del óxido de carbono, y, aunque son varios los que pueden usarse con tal objeto (permanganato potásico, ácido crómico, etcétera), nos detendremos algo en el examen del que utiliza como reactivo el anhídrido yódico,

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, t. 126, núm. 13.

toda vez que ha servido para idear una mascarilla protectora contra el óxido de carbono.

Anhídrido yódico.—Ditte, en 1870, dió a conocer la propiedad que posee el óxido de carbono de reducir en caliente al anhídrido yódico. Después, A. Gautier (1), ha establecido que esta reacción, que empieza a los 30°, es muy viva a los 45° y llega a ser completa a los 70°, por pequeña que sea la proporción de óxido de carbono en el aire. Sin embargo, las experiencias llevadas a cabo por Desgrez, Guillemard, Hemmerdinger y Labat (2), han demostrado que si se hace pasar una corriente de aire que contenga óxido de carbono a través de pómez granulada, impregnada de anhídrido yódico y mantenida a una temperatura de 50°, la reacción es lenta y no tiene lugar, en tales condiciones, sino la oxidación de pequeñas cantidades de óxido de carbono.

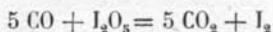
En cambio, las cosas pasan de modo muy distinto si la reacción se verifica en presencia del ácido sulfúrico, y comprobaron que, en las condiciones en que operaban, y a partir de 35°, el óxido de carbono *es quemado* completamente. Entre 10 y 15° la misma mezcla de

(1) Comptes rendus de l'Académie des Sciences, tomo 126, números 11 y 12.

(2) Chimie & Industrie, julio 1921.

Pómez granulada.....	35 gramos
Anhídrido yódico.....	70 "
Acido sulfúrico.....	10 c. c.

deja pasar algo de óxido de carbono, pero la temperatura del reactivo se eleva gradualmente y la reacción es cada vez más completa. Como los resultados que obtuvieron empleando otros cuerpos para determinar la fijación del anhídrido yódico a la piedra pómez fueron negativos, dedujeron que los buenos resultados logrados con el empleo de la mezcla indicada se deben a la presencia del ácido sulfúrico. El mecanismo de la reacción es desconocido y está siendo objeto de experimentación. Pero, tanto en este caso como cuando se prescinde del empleo del ácido sulfúrico, la cantidad de yodo puesta en libertad se deduce de la fórmula



Para determinar la proporción de óxido de carbono basta, pues, dosificar el yodo puesto en libertad, lo que efectúa Nicloux aplicando la fórmula

$$\text{CO} = \frac{\text{KI}}{2,97} \text{ o } \text{CO} = \frac{\text{KI}}{3}$$

Levy y Pécoul (1) dosifican el yodo por

(1) Comptes rendus de l'Academie des Sciences, t. 140, núm. 2.

medio del cloroformo, que toma un tinte rosa, de modo que empleando una escala de colores se deduce fácilmente la proporción de yodo fijado, y, por tanto, la de óxido de carbono. Basándose en estas ideas han construído un aparato, relativamente práctico, que puede servir para apreciar la existencia hasta de $\frac{1}{200.000}$ de óxido de carbono en el aire,

bastando para hacer el ensayo la simple apertura de una llave y cuatro litros del aire a analizar.

Al emplear como reactivo el anhídrido yódico debe tenerse en cuenta que el acetileno reacciona también parcialmente a 50 ó 60° sobre el anhídrido, dejando yodo en libertad; que el etileno tiene la notable propiedad de que, aunque se oxida más difícilmente, impide la oxidación del CO cuando acompaña a éste, aún en pequeñas proporciones. También el hidrógeno sulfurado puede falsear los resultados, si bien su presencia se reconoce fácilmente a causa de su olor tan penetrante. En cambio, los hidrocarburos de la serie $C_n H_{2n+2}$, entre los que figura el metano, no se oxidan entre 65 y 80°. Tampoco se oxida el hidrógeno a dichas temperaturas.

Aparato de Graham.—Está representado esquemáticamente en la figura 12.

El yodo puesto en libertad es absorbido por

una disolución de yoduro sódico o potásico, al 10 por 100, y titrado con una disolución normal de tiosulfato sódico, usando una solución de almidón como indicador.

El análisis puede ser hecho en cinco minutos con una aproximación de 0,005 por 100 si

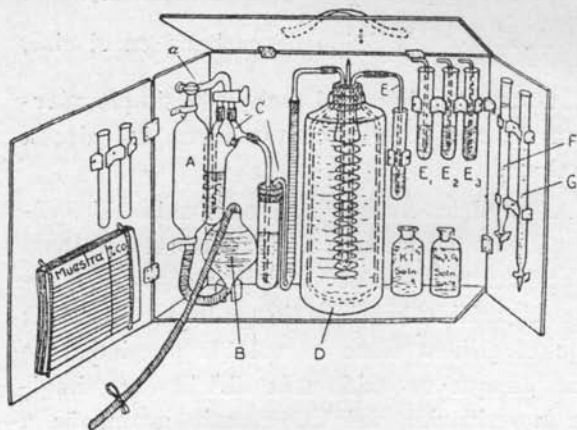


Fig. 12.

se emplea una muestra de 100 c. c. de aire, elevándose el grado de aproximación a 0,0005 por 100 si se analiza un litro de aire.

El anhídrido yódico se mantiene durante el análisis a una temperatura de 150° empleando un frasco lleno de aceite de elevado punto de inflamación y calentado a dicha temperatura mediante una resistencia eléctrica.

La experiencia ha demostrado que calentando el aceite a 150° se puede realizar una

serie de análisis, ya que a las siete horas de empezados aun se mantiene el aceite a 90°. Permite, pues, efectuar numerosos análisis en el interior de la mina.

Además, y con el fin de no tener que desmontar el aparato para calentar el aceite, Graham le ha adaptado un dispositivo eléctrico que lo calienta, hasta hacerle alcanzar la temperatura de 150°, en cinco minutos.

El aparato, encerrado en una caja para su fácil transporte, lleva un tubo A de toma de muestras, de 100 c. c., cerrando con una llave α de tres pasos. B es un depósito conectado a A, que contiene algo más de 100 c. c. de agua, y sirve para llenar el tubo A del aire a analizar, y para hacerle recorrer el resto del aparato durante el análisis soplando por el tubo de goma unido a B, y que aparece en la figura cerrado por una pinza.

C es un juego de tubos de absorción destinados a purificar y secar la muestra de gas; el primero contiene una fuerte solución de bromo en bromuro potásico; el segundo, una solución saturada de sosa cáustica; y el tercero, sosa cáustica en trozos, cloruro de cal y, finalmente, anhídrido fosfórico.

El tubo que contiene el bromo está provisto de una llave con el fin de evitar que los vapores de bromo pasen al que contiene la solución de sosa cáustica. Además, y cuando el aire de la mina no contiene prácticamente hidrocarbu-

ros no saturados, es conveniente disponer una segunda llave de tres vías que permita pasar el aire directamente a la solución de sosa cáustica, o que se le lave primero con bromo si se sospecha que contiene hidrocarburos no saturados.

El frasco D, lleno de aceite, está cerrado por un tapón que da paso a los elementos siguientes: a un tubo en U, que contiene aproximadamente diez gramos de anhídrido yódico, a un termómetro y a dos tubos cortos que contienen una pequeña cantidad de mercurio, y en el fondo de los cuales se disponen unas láminas de cobre conectadas al calentador, consistente en una resistencia de níquel-cromo de 200 ohmios.

Al tubo que contiene el anhídrido yódico se une el tubo E que se introduce en una solución de yoduro potásico; así el gas que ha recorrido el aparato se escapa en burbujas después de atravesar dicha solución, con lo que se logra una absorción completa del yodo puesto en libertad.

El aparato va provisto de otros tres tubos de ensayo, E₁, E₂ y E₃ con solución de yoduro sódico o potásico.

F es una bureta sin graduar que contiene una solución de almidón al 1 por 100 aproximadamente.

G es una bureta de 5 a 10 c. c. graduada en 0,1 c. c. que contiene una solución de tiosul-

fato sódico y graduada de modo que cada dos gotas (0,1 c. c.) corresponden a 0,01 por 100 de CO, cuando se analizan muestras de 100 c. c.

Método operatorio.—Maniobrando la llave del tubo A se le pone en comunicación con la atmósfera a analizar, y quitando la pinza que cierra el tubo de goma conectado a B se sopla por dicho tubo hasta llenar de agua el tubo A. Dejando de soplar vuelve el agua de A a B y se llena el primero del aire a analizar.

Gírase entonces la llave de A, conectando los purificadores C, y soplando nuevamente por el tubo de goma se fuerza a la muestra de aire a atravesar el aparato, del que se ha desconectado el tubo E. Esta operación preliminar no tiene otro objeto que llenar el aparato del aire a analizar, desalojando el que contuviese.

Conéctase el tubo E, se toma una segunda muestra de 100 c. c. y se le hace pasar por el aparato a una velocidad tal que se inviertan dos minutos en dicha operación. Gírase entonces la llave de A cerrando su comunicación con C.

Desconéctase entonces el tubo E y se hace una pequeña succión para que lo limpie el yoduro potásico. Añádense unas gotas de la solución de almidón al tubo de ensayo, y si el aire contenía algo de CO, el yodo puesto en libertad comunica un tinte violeta a la solución de yoduro potásico a causa de la adición

del almidón. Añádese después gota a gota la solución standard de tiosulfato hasta que desaparezca el color azul debido al yodo.

Cuando la muestra de aire contiene más de 0,3 por 100 de CO puede condensarse algo de yodo en la parte superior del tubo E. Para lograr en tal caso un resultado exacto se hace pasar por el aparato, después de la muestra, 200 c. c. de aire puro o de aire que contenga una pequeña proporción conocida de CO. El yodo que pudiera haberse condensado se volatilizará y podrá ser absorbido por el yoduro potásico. De la proporción total de CO encontrada se deducirá la del aire empleado para el lavado del aparato.

También puede lograrse mayor exactitud analizando varias muestras de 100 c. c. sin cambiar el tubo E y deduciendo la media de los ensayos.

Antes de empezar una serie de ensayos se calentará el aceite del frasco D hasta que su temperatura sea de 150°, y también se deberá hacer un ensayo previo con 200 c. c. de aire puro. La solución de yoduro potásico no debe tomar coloración apreciable adicionándole un par de gotas de la solución de almidón.

La caja, que pesa unos 4,5 kilogramos, lleva algunos tubos de repuesto E₁ E₂ E₃, aunque la misma solución y tubo pueden servir para una serie de ensayos, siempre que la de-

coloración de aquélla sea hecha cuidadosamente.

Damos con esto por terminada esta simple enumeración de métodos de ensayo y pasamos a la parte verdaderamente interesante para nosotros: al estudio de los avisadores prácticos del óxido de carbono. Su extensión nos lleva a iniciar este estudio en otro capítulo.

CAPITULO X

Avisadores prácticos del óxido de carbono.

Vamos a describir los métodos prácticos de que podemos servirnos para descubrir la presencia del óxido de carbono en el aire.

Desde luego tenemos que prescindir de los ensayos con la lámpara, pues aunque la llama se alarga cuando el aire contiene óxido de carbono, este efecto no se hace perceptible sino cuando la proporción de dicho gas es considerable y la vida imposible en una tal atmósfera.

Tampoco cabe pensar en el empleo del método al carmín, pues aun cuando permite apreciar 0,01 por 100 de óxido de carbono (1), su determinación ha de hacerse basándose en diferencias de coloración imposibles de apreciar en el interior de una mina a la luz de una lámpara. Requiere, por otra parte, tiempo, aparatos y, sobre todo, una técnica especial y mucha práctica, lo que nos hace prescindir de él como método práctico, puesto que no está al alcance de todos.

Experimentos del Bureau of mines de los Estados Unidos sobre el empleo de las ratas

(1) Trans. I. M. E., vol. 38, pág. 275.

y canarios como avisadores del CO.—Dicho empleo se basa en el hecho de que la relación del volumen de la respiración de estos animales al de su sangre es mayor que en el hombre. Por consiguiente, la proporción de oxicarbohemoglobina formada aumenta más rápidamente y la intoxicación se produce antes que en el hombre.

Experimentos anteriores llevados a cabo por Haldane habían permitido establecer conclusiones que hoy no tienen valor alguno, según se deduce de los estudios efectuados por el Bureau of mines.

Este departamento ha hecho diferentes ensayos para determinar el tiempo al cabo del cual los ratones japoneses y los canarios, colocados en atmósferas con porcentajes crecientes de CO, presentaban las primeras señales de intoxicación. Los resultados son resumidos en el cuadro siguiente, en el que los tiempos vienen expresados en minutos

% de CO	Anomalías en los movimientos		Grandes anomalías y debilidad		Colapso	
	Ratones	Canarios	Ratones	Canarios	Ratones	Canarios
0,20 a 0,24 .	2,7	2,2	3,6	3,3	4,1	3,6
0,14 a 0,16 .	4,4	5,0	6,9	10,3	12,3	Ninguna
0,10 a 0,12 .	6,4	Ninguna	8,7	Ninguna	Ninguna	Ninguna

Aun cuando los resultados contenidos en el cuadro son la media de varios experimentos,

presentan ya variaciones bastante importantes. Así, Burrell ha observado que en atmósferas con 0,10 a 0,12 % de CO los canarios no presentan señales de inquietud sino a partir de los 75 minutos de exposición. En atmósferas con 0,14 a 0,16 algunos ejemplares han caído de sus perchas entre los 18 y 25 minutos, y un canario no cayó sino al cabo de una hora, en tanto que el hombre colocado en iguales condiciones es víctima de un colapso a los 50 o 70 minutos, si permanece en reposo, o a los 10 o 15 minutos si trabaja.

Del mismo modo, y en atmósferas con 0,20 a 0,24 % de CO, Burrell ha comprobado que, de 12 canarios, 11 cayeron entre 4 y 13 minutos, y uno no lo hizo hasta los 40 minutos. Con los ratones japoneses los resultados son mejores, aunque, en tal atmósfera el hombre sufre el colapso entre los 25 y 40 minutos, si permanece quieto, y a los 6 ó 10 minutos si trabaja.

En resumen, aunque los ratones japoneses son más sensibles que los canarios, y éstos que el hombre, el margen de seguridad es tan pequeño que no es posible confiar la vida del personal a un avisador que ofrece tan pocas garantías.

Se ha hecho, pues, necesario recurrir a aparatos que, basados unos en métodos físicos y otros en propiedades químicas ya conocidas,

permiten dosificar rápidamente el óxido de carbono.

Divídense estos aparatos en dos categorías, según que exijan instalarse en puntos fijos de la atmósfera a examinar o puedan ser transportados fácilmente al lugar en que se precise determinar el porcentaje de CO.

Los aparatos comprendidos en el primer grupo son de dos tipos: unos que registran automáticamente el porcentaje de CO y otros que emiten una señal cuando dicho porcentaje llega a un valor determinado.

Avisadores fijos.

Todos los aparatos de esta clase aplican la elevación de temperatura producida por la combustión del óxido de carbono.

Aparato Siemens-Halske.—Tiene el mismo principio que algunos grisúmetros.

En uno de los lados del puente de Wheatstone se intercala un hilo de platino que es calentado al rojo sombra por una corriente eléctrica. Haciendo circular alrededor de este hilo el aire en el cual se desea dosificar el CO la elevación de temperatura que determina la combustión de este gas produce una variación de la resistencia del hilo que desvía la aguja de un galvanómetro colocado según la diagonal del puente.

Este aparato puede dosificar porcentajes comprendidos entre 0 y 1 por ciento, pero pa-

ra que sus indicaciones sean exactas es preciso que el aire no contenga más gas combustible que el CO.

Toxímetro Guasco.—Este aparato construído por los laboratorios Carterel es un termómetro diferencial de aire que registra la elevación de temperatura producida por la combustión del CO a expensas del oxígeno del aire y bajo la influencia de un catalizador constituido por platino reducido.

Uno de los depósitos del aparato está envuelto por el catalizador y el otro protegido con amianto, con el fin de que se encuentre en las mismas condiciones que el primero, bajo el punto de vista de los cambios de calor con el medio ambiente.

Este toxímetro ha sido estudiado por Tafanel, y los resultados de dicho estudio aparecen consignados en el cuadro siguiente:

GAS	Diferencia de alturas en m/m.							
	0,1	0,2	0,3	1	3	5	7,5	10
Por 100								
CO	9	13	17	—	—	—	—	—
H	12	—	36	—	—	—	—	—
Grisú				175	2,5	3	3	3

Vemos que el toxímetro es muy sensible a la acción del hidrógeno y del CO.

Su empleo está muy indicado para la vigilancia de talleres, pero instalándolo en un sitio fijo, ya que los choques pueden determi-

nar la separación del líquido o la rotura de las pastillas recubiertas de catalizador.

Aparato de Simmance y Levy.—Acusa la presencia de trazas de CO, como $\frac{1}{2.000}$, haciendo sonar un timbre cuando tales proporciones llegan a estar presentes en el aire suministrado al aparato.

Utiliza (1) el calor desprendido por la oxidación del CO mediante la acción catalítica de gránulos especialmente preparados y colocados en la cámara de oxidación. Dicho calor es comunicado a un par termostático que toma una ligera curvatura. Sobre dicho mueble está montado uno de los contactos. El otro va dispuesto sobre una varilla análoga que actúa también de compensador para anular los efectos debidos a las variaciones de la temperatura ambiente, y mantiene la misma separación entre los dos contactos, distancia que se regula por medio de la rosca que lleva uno de ellos.

Al tocarse los contactos se cierra un circuito en el que se encuentra intercalado un timbre.

La fig. 13 muestra un esquema del aparato.

A es la entrada del aire. B es un frasco de tres bocas que contiene ácido sulfúrico, y en cuya boca central se adapta un tubo C con

(1) Colliery Guardian, 25-6-1924.

ácido fórmico que, abriendo la llave, cae gota a gota sobre el ácido sulfúrico, dando lugar a la producción de una pequeña cantidad de CO que permite apreciar si el aparato está en buenas condiciones de funcionamiento.

El tubo D sirve para igualar las presiones en los extremos de C.

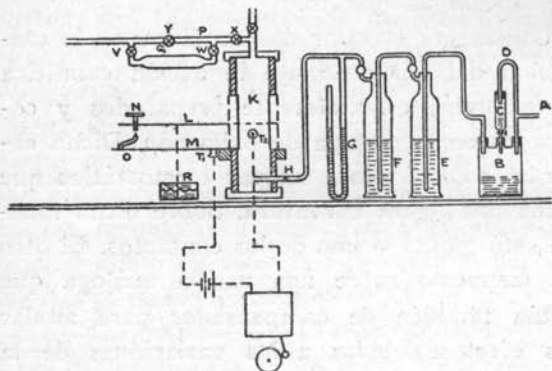


Fig. 13.

El frasco B comunica con otros dos, E y F, que contienen también ácido sulfúrico concentrado, y a continuación de los cuales se encuentra el tubo catalizador K.

Este tubo contiene una capa inferior de cloruro de cal, otra intermedia de gránulos del catalizador y una tercera la superior, también de cloruro cálcico.

G es un manómetro, y H una llave para regular la corriente de aire, que debe ser de dos litros por minuto.

Los contactos eléctricos N y O son dispuestos sobre los pares L y M y a los terminales T_1 y T_2 se une el circuito de un timbre.

La salida del aire analizado tiene lugar por el tubo P, del que se encuentra derivado un avisador Q destinado a probar la eficacia del catalizador V.

V, W, X e Y son llaves de paso.

Los gránulos del catalizador pierden su actividad si se humedecen. Por ello se seca tanto el aire antes de que llegue a la cámara K, y como, a causa de la humedad absorbida, aumenta el volumen del ácido en los frascos E y F, cuando este aumento llega a ser en E de 25 a 30 por 100 se retira esta botella para recargarla de ácido, colocando en su lugar la F y volviendo a colocar a aquélla en segundo lugar.

Para ensayar la actividad de los gránulos se procede del modo siguiente: se cierra la llave Y y se abren las V y W. Se deja caer una gota por minuto, durante 5 ó 6 minutos, de ácido fórmico en el frasco B y la pequeña cantidad de CO así formada hará sonar el timbre. Además, el reactivo del tubo V W deberá conservar su color blanco, no tomando tinte verdoso, si el reactivo está en condiciones.

El aparato puede acusar la presencia en el aire de un 1 por 1.000 de CO.

Avisador del Bureau of mines.—Se ha empleado en América en los trabajos de perforación de túneles.

Utiliza el calor desprendido por la combustión del CO al contacto de un catalizador, la hopcalita.

La elevación de temperatura resultante es medida por pares termoelectricos.

El aparato registra en un diagrama la proporción de CO.

Aprecia porcentajes de 0,02 por 10.000 o sea $2/1.000.000$ y cuando la proporción de CO en el aire llega a $4/10.000$ avisa por medio de un timbre.

El aparato es de una gran precisión, pero muy voluminoso.

Todos los aparatos que hemos descrito son frágiles y tienen el inconveniente de que sólo analizan la atmósfera próxima al aparato; por eso su empleo sólo está indicado en locales en que la composición de la atmósfera es casi constante.

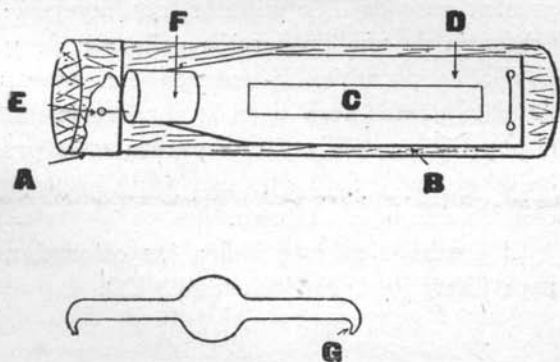
Avisadores portátiles.—Permiten dosificar el CO en cualquier punto de la atmósfera sospechosa.

Los métodos colorimétricos son hoy día los únicos a que puede recurrirse. Utilizan, según vamos a ver, la reducción por el óxido de carbono del cloruro de paladio, del nitrato de plata amoniacal y del complejo yodo-sulfúrico.

Avisador alemán.—Con el título de *Papier zum Nachweis von Kohlenoxyd* usaron los alemanes durante la última guerra un papel reactivo destinado a reconocer la presencia del óxido de carbono en el aire. Aunque la aplicación en este caso concreto es nueva, el uso de tales papeles reactivos es anterior a la guerra, si bien sólo se empleaban para descubrir fugas en las conducciones de gas del alumbrado y de otros gases que contienen grandes proporciones de óxido de carbono.

En el avisador alemán. el reactivo es el cloruro de paladio de que se ha impregnado previamente un papel de ensayo, que se humedece con unas gotas de una disolución de carbonato sódico al ser usado.

El avisador completo se compone de una caja metálica cilíndrica A (figs. 14 y 15) que en-



Figs. 14 y 15.

cierra un tubo de cristal, B, dentro del cual se conserva el papel de ensayo C, fijado sobre un trozo de cartulina D. Esta cartulina se introduce por uno de sus lados menores en una ranura que lleva practicada el corcho E, y está a su vez unida, por intermedio de un hilo, al alambre F. El tubo de cristal contiene también una pequeña ampolla G terminada en puntas afiladas y llena de una disolución de carbonato sódico.

Para hacer uso del aparato se procede del modo siguiente: abierto el tubo de cristal, se extrae su contenido quitando el tapón de corcho. Se rompen las puntas de la ampolla y se echan una o dos gotas de su contenido sobre el papel de ensayo. Entonces, y empujando el alambre F, quedará la cartulina libre y colgando del hilo.

Si el papel ennegrece, o presenta puntos negros al cabo de diez minutos, nos revelará la presencia de una proporción peligrosa de gas y sólo se permitirá la entrada con aparatos de salvamento; pero si en la zona en cuestión el papel toma sólo un tinte parduzco, es prueba de que no existe sino una pequeña proporción de óxido de carbono.

El cuadro siguiente indica las coloraciones para diferentes proporciones de CO.

Duración del ensayo (minutos)	Coloración del papel para una proporción de CO de			
	0,05 o/o	0,10 o/o	0,25 o/o	0,50 o/o
2	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna
5	Ninguna	Ninguna	Muy débil	Débil
10	Muy débil	Débil	Clara	Clara

Un observador con mucha práctica puede reconocer el porcentaje peligroso, pero para quien no tenga costumbre de hacer estos ensayos es prácticamente imposible deducir la proporción de CO de un cambio tan pequeño de coloración.

Como el papel de ensayo puede estropearse si el cierre del tubo que lo contiene no es hermético, debe examinarse antes de emplearlo y darlo por inútil si presenta puntos grises. Es preciso no tocarlo, por lo que debe extraerse y prepararse para su uso con toda precaución. También debe humedecerse con cuidado, puesto que si las gotas de carbonato sódico escurren del papel reactivo arrastrarán el principio activo, haciendo el mismo efecto que un lavado del papel, que habrá de darse por inútil.

Avisador inglés.—Sólo difiere del anterior en que el papel reactivo se impregna previamente de carbonato sódico añadiéndole las gotas de cloruro de paladio al ir a usarlo.

Avisador de Potin.—Es un aparato muy sencillo, y se compone de un tubo afilado en

su extremidad e introducido en otro de mayor diámetro, que contiene 10 centímetros cúbicos de una disolución de cloruro de paladio al 1 por 1.000, a la que se añaden dos gotas de ácido clorhídrico. Este segundo tubo, cerrado con un tapón de goma a través del cual pasa el primero, presenta una tubulura lateral por la que se efectúa una aspiración; el aire a analizar penetra por el tubo de menor diámetro, y saliendo por su punta afilada, atraviesa en forma de pequeñas burbujas la disolución de cloruro de paladio, que alcanza una altura de 20 centímetros, multiplicándose así las superficies de contacto del aire y del líquido.

Cuando el aire contiene óxido de carbono; el cloruro de paladio es descompuesto, depositándose el paladio en forma de capa negra sobre las paredes del tubo. Claro es que para que tenga lugar la descomposición de grandes cantidades de cloruro, sería preciso que el aire contuviese también grandes cantidades de óxido de carbono, y, aunque esto no es lo corriente, debe tenerse en cuenta que, a causa de la descomposición del cloruro, la disolución que presentaba un color amarillo muy acentuado, se descolora progresivamente, sucediendo respecto al cambio de color lo que con los otros avisadores, que depende de la cantidad de CO presente en el aire.

Ahora bien; la reacción no es completa, es

decir, que no todo el óxido de carbono es oxidado, y, por tanto, sólo puede determinarse empíricamente la proporción de CO que corresponde a una cierta cantidad de cloruro descompuesto; así puede determinarse el llamado coeficiente del aparato, que varía muy poco cuando se opera en condiciones idénticas de temperatura, y establecer una escala de colores con la que, según los autores del avisador, se puede apreciar la existencia en el aire hasta de $\frac{1}{10\ 000}$ de óxido de carbono, o sea 1 c. c. en 10 litros.

Avisador de Dejust.—Incidentalmente hemos aludido al mismo al tratar del empleo del óxido de plata como absorbente del óxido de carbono. Entrando más en detalle diremos que el avisador Dejust consta de un embudo de veinte centímetros cúbicos de capacidad, terminado en punta afilada, y dispuesto sobre un cristalizador de tamaño apropiado.

Echada en el embudo una disolución amoniacal de óxido de plata, conteniendo diez gramos de óxido por litro, caerá gota a gota al cristalizador, favoreciéndose así el contacto de la disolución con el aire a analizar, lo que tiene lugar primeramente en el embudo, después al formarse las gotas y finalmente en el cristalizador. Si el aire contiene óxido de carbono, la disolución tomará un tinte pardusco, cuya intensidad, lo mismo que en los

otros avisadores descritos, es proporcional a la cantidad de gas tóxico presente en el aire. Al aparato acompaña una escala de colores que permite apreciar cantidades de

$$\frac{1}{1.000}, \frac{1}{5.000}, \text{ y } \frac{1}{10.000}$$

El aparato, con reactivo y accesorios, va encerrado en una pequeña caja de $12 \times 12 \times 16$ centímetros.

Debe advertirse que el acetileno y el hidrógeno sulfurado pueden falsear las indicaciones del aparato, si bien, como se trata de gases dotados de olores característicos, es fácil darse cuenta de su presencia en el aire, dejando de emplearlo en tales casos.

Avisador al nitrato de plata amoniacal.—

Para preparar el reactivo se disuelven 1,7 gramos de nitrato de plata en 36 cm^3 de agua amoniacal al 10 % de NH^3 . Se añaden 200 cm^3 de solución de sosa cáustica al 8 por 100 y se diluye con el agua necesaria para formar un litro de solución.

Es preciso evitar la presencia de sustancias orgánicas que comunicarían al reactivo un tinte pardusco.

Agitando 1 cm^3 del reactivo, que debe ser incoloro, con aire que contenga CO se comprueba al cabo de 15 ó 30 segundos una coloración parda que se destaca perfectamente sobre un fondo blanco.

Para emplearlo en el interior de la mina se toma un tubo de cristal cerrado por un extremo y terminado por el otro en punta afilada. Se echa en él 1 cm³ de reactivo, se hace el vacío y se suelda la punta afilada. Llegado el observador al punto cuyo aire se desea analizar se rompe la punta del tubo, el aire entra en él y cerrando su extremidad con el pulgar se agita para favorecer el contacto del reactivo con el aire.

La proporción de CO se deduce del tiempo que tarda en aparecer la coloración parda.

Los resultados obtenidos con este método coinciden perfectamente con los que suministra el anhídrido yódico.

Para comparar este método con el del cloruro de paladio hemos formado el siguiente cuadro. En él puede apreciarse que la duración del ensayo es dos veces menor con el nitrato de plata.

% en volumen de CO	Duración del ensayo hasta aparecer una coloración bien visible.	
	Con cloruro de paladio — Segundos	Con nitrato de plata amoniacal — Segundos
1,6	20	7
0,8	35	10
0,4	50	20
0,2	85	35
0,1	160	45
0,05	350	80

Avisador americano.—En él se emplea el complejo yodo sulfúrico, que tiene la ventaja de no exigir más que operaciones eminentemente sencillas cuya práctica sólo requiere un aprendizaje insignificante.

Su principio ya nos es conocido. Ahora que, durante la guerra europea, se reconoció que si en lugar del anhídrido yódico se emplea una mezcla en proporciones convenientes de este cuerpo y de ácido sulfúrico fumante la reacción se produce en frío y el yodo puesto en libertad forma con el ácido sulfúrico un compuesto coloreado.

Estas propiedades fueron aplicadas en los Estados Unidos hace ya algunos años en la construcción de un avisador que permitía hacer pasar un volumen determinado del aire que se quiere analizar por un tubo que contiene piedra pómez impregnada de la mezcla yodosulfúrica. Si el aire contiene CO, éste reacciona sobre el anhídrido yódico y el compuesto resultante de la fijación por el ácido fumante del yodo puesto en libertad da a la piedra pómez un color verde azulado, tanto más intenso cuanto mayor es el porcentaje de CO en el aire.

La comparación de dicha coloración con una escala colorimétrica que acompaña al aparato permite deducir el porcentaje de CO.

Avisador francés.—Estudiada la fabricación del reactivo yodosulfúrico, la Estación de en-

sayos del Comité Central de las Hulleras de Francia, en Montluçon (Allier), ha reconocido que se aumenta notablemente la sensibilidad del método empleado granos de sílice en lugar de piedra pómez como soporte.

Dicha estación construye actualmente avisadores análogos al americano.

El aparato representado en la figura 16 comprende los elementos siguientes:

1.º Un tubo metálico, de 10 centímetros de longitud y 2 de diámetro, que contiene carbón activo, a través del cual se hace circular el aire a analizar, antes de ponerlo en contacto con el reactivo, a fin de privarlo de las impurezas que podrían influir en el desarrollo de la reacción de reducción.

2.º De una pera de caucho para aspirar y hacer pasar el aire por el aparato.

3.º De una válvula de aspiración y otra de impulsión para asegurar la circulación en el tubo del reactivo y en el tubo absorbente del aire aspirado e impulsado por la pera.

El conjunto va sobre una montura metálica que lleva al lado del tubo del reactivo otro con una escala colorimétrica.

El reactivo yodosulfúrico es entregado en tubos de 7 milímetros de diámetro y 10 centímetros de longitud, soldados en sus extremos.

Para hacer un análisis de aire se rompen las puntas terminales de un tubo con reacti-

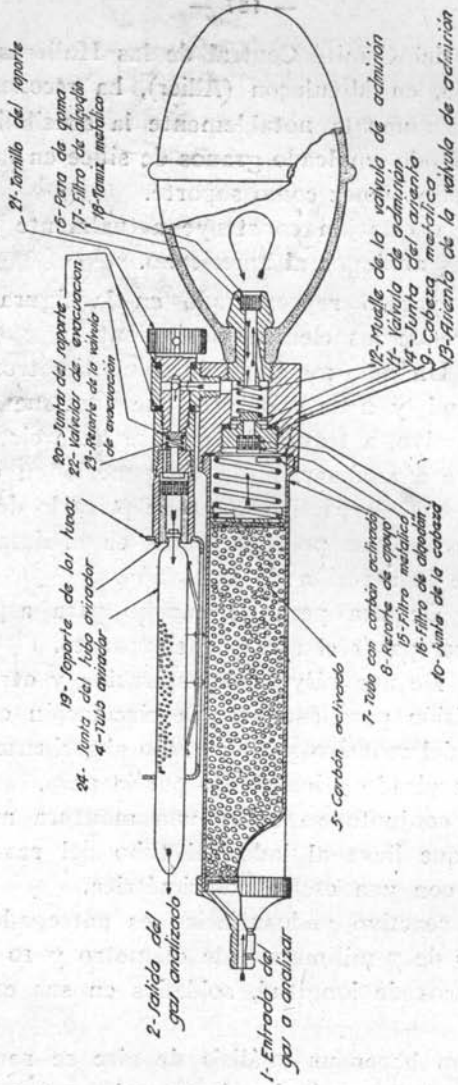


Fig. 16.

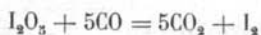
vo, que se coloca en la montura al lado de la escala colorimétrica, introduciendo sus extremidades en orificios dispuestos a este objeto.

El aparato queda entonces presto a funcionar. Si la atmósfera en que se hace el análisis contiene óxido de carbono basta manio- brar la pera de caucho para ver cómo los granos de sílice cambian de coloración, vi- rando rápidamente del blanco al verde. Para dosificar el CO se aprecia la coloración que toma la sílice después de hacer pasar por el tubo con el reactivo un volumen determinado de aire, o sea, prácticamente, después de un cierto número de maniobras de la pera, nú- mero que debe ser el mismo que ha servido de base para la graduación de la escala, y que es el de 10.

Antes de efectuar un ensayo conviene ase- gurarse si el aire que se trata de analizar contiene o no CO. Para ello se manioobra la pera de tiempo en tiempo, a medida que se penetra en la atmósfera sospechosa, vigilan- do cuidadosamente el tubo del reactivo para ver si se colorea de verde. En caso afirmati- vo, y si se desea hacer un análisis exacto, de- be colocarse inmediatamente un tubo nuevo de reactivo en el avisador.

Tal es el método a seguir cuando se pre- fiere la exactitud y a ella se sacrifica el costo. Pero cuando aquélla no tiene mucha impor-

tancia puede emplearse varias veces el mismo tubo, teniendo en cuenta el hecho de que, cuando la cantidad de yodo que la reacción



pone en libertad no es muy importante, el yodo se oxida espontáneamente en muy poco tiempo, regenerándose el anhídrido yódico, es decir, que algún tiempo después de haberse coloreado el tubo de verde puede volver a emplearse de nuevo, lo que hace posible utilizarlo varias veces.

Sin embargo, debe tenerse presente que el tubo que ha sido utilizado conserva durante cierto tiempo una sensibilidad superior a la normal, y, por tanto, sus indicaciones van afectadas de un error por exceso. Por esto es por lo que hemos aconsejado emplear un tubo nuevo, o que por lo menos no haya sido utilizado durante bastante tiempo, cuando se requiera mucha exactitud.

Debemos llamar la atención sobre los dos hechos siguientes:

1.º Que el reactivo yodosulfúrico debe ser suficientemente anhidro, y que se altera por su empleo repetido a causa de la fijación por el anhídrido sulfúrico de la humedad del aire puesto en su contacto; y

2.º Que los vapores de dicho anhídrido sulfúrico pueden reaccionar sobre el caucho formando compuestos susceptibles de reducir el

anhídrido yódico. Si, pues, se deja un tubo montado sobre el avisador, los compuestos de dicha naturaleza que pueden formarse en la pera serán desalojados al hacer un análisis, y su acción sobre el reactivo nos llevará a considerar como sospechosa una atmósfera que no contenga la menor proporción de CO.

Resulta, por tanto, que es conveniente no dejar el tubo montado sobre el avisador cuando no se hace uso de él. Debe tenerse la costumbre de quitarlo al dejar de emplearlo y cerrar sus extremos con buenos tapones que impidan la penetración de la humedad.

Otra aplicación de este avisador consiste en dosificar el CO en una canalización o detrás de un tabique. Basta para ello fijar a la extremidad del tubo absorbente un tubo por el cual se haga la aspiración, no olvidándose de tomar la precaución de desalojar el aire contenido en el tubo de enlace antes de montar el tubo del reactivo. Fácilmente se comprende la utilidad de esta aplicación en la lucha con los fuegos subterráneos.

Como tenemos indicado anteriormente, el aparato lleva una escala colorimétrica (figura 17), dividida en cinco secciones correspondientes a proporciones de CO de 0,1, 0,2, 0,3, 0,5, y 1 por 100, si se maniobra la pera 10 veces. Si al efectuar un análisis la coloración es más débil que la de la primera sección, se maniobra la pera 20 ó 30 veces has-

ta lograr una coloración comparable a una de las de la escala, dividiendo por 2 ó 3, respectivamente, el porcentaje correspondiente de la escala para obtener el del aire analizado.

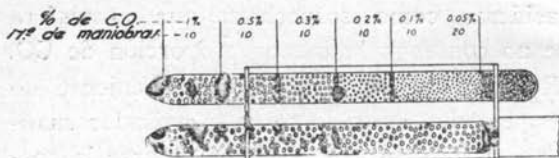


Fig. 17.

Si nos fijamos en la figura 16 vemos que el aire atraviesa un primer tubo que contiene carbón activo cuyo objeto es absorber aquellos gases y vapores que, como el etileno, gasolina, hidrógeno sulfurado, etc., podrían falsear el resultado del análisis al atravesar el tubo con reactivo.

Finalmente, hagamos notar que el cambio de coloración del reactivo yodosulfúrico es fácilmente observable a la luz de una lámpara de llama, y mejor aún de las lámparas eléctricas, que el análisis puede hacerse en un minuto y que, aunque puede dar lugar a pequeñas diferencias en la apreciación de la coloración, y, por tanto, en la proporción de CO, los errores son inferiores en media milésima cuando es manejado por un operador práctico. Pero no perdamos de vista que estos errores no tienen prácticamente nin-

guna importancia, ya que se trata de un aparato cuyo objeto no es otro que indicarnos si una atmósfera es o no peligrosa.

Conclusión.

De cuanto precede se deduce que afortunadamente hoy contamos con medios poderosos para combatir las intoxicaciones producidas por el óxido de carbono, intoxicaciones cada vez más raras por los medios tan prácticos que tenemos a nuestro alcance para reconocer su presencia en el aire.

Pero si grande ha sido el paso dado con la construcción de los avisadores, aun es mayor el que representa el invento de las mascarillas protectoras.

¡Qué de vidas se economizarán el día que cada obrero baje a la mina provisto del filtro de urgencia, que le proteja en su huída después de una explosión!

Y tan grande es la importancia que concedemos a la divulgación del empleo de las mascarillas, que tenemos en preparación un folleto que publicaremos próximamente, con el título: "*Mascarillas protectoras contra el óxido de carbono*", en el que las estudiaremos con todo detalle y nos ocuparemos de su aplicación en las minas y fábricas.

Sagunto, junio de 1932.

ÍNDICE

	<u>Págs.</u>
A modo de prólogo	5
CAPÍTULO I	
Presencia del óxido de carbono en la atmósfera de las minas.....	7
Manantiales de óxido de carbono.....	7
1.º Oxidación del carbón y otras materias carbonosas	8
2.º Empleo de los explosivos	12
3.º Combustión espontánea del carbón y fuegos subterráneos	15
4.º Explosiones de grisú y polvo de carbón..	24
5.º Empleo de motores de combustión interna	26
6.º Compresores de aire	27
CAPÍTULO II	
Propiedades del óxido de carbono	28
CAPÍTULO III	
Toxicidad del óxido de carbono	30
Afinidad del óxido de carbono y de la hemoglobina	33
Relación entre la proporción de óxido de carbono en el aire y el grado de saturación de la sangre	35
Influencia de la naturaleza del individuo sobre la intensidad de la intoxicación	36
Equivalencia de las atmósferas pobres de oxígeno y las cargadas de óxido de carbono ...	38
Conclusiones de Haldane	41
Exposición repetida de ratas y canarios	42
Exposición repetida del hombre	43

CAPÍTULO IV

Proceso de la intoxicación producida por el óxido de carbono	46
--	----

CAPÍTULO V

Correspondencia entre los distintos síntomas y el grado de saturación de la sangre	50
--	----

CAPÍTULO VI

Períodos en que puede dividirse el proceso de intoxicación	53
Período inicial o de rápida invasión	53
Período de absorción progresiva	53
Período de equilibrio	54
Coefficiente de envenenamiento	54

CAPÍTULO VII

Tratamiento de los intoxicados por el óxido de carbono	57
Tratamiento con oxígeno puro	59
Empleo del carbógeno, mezcla de 95 % de oxígeno y 5 % de ácido carbónico	64
Aparato resucitador Edina	66
Método Schaefer de respiración artificial	68
Aparato de Panis	70
Mascarilla Legendre-Nicloux	72
Aparato Hausmann para aplicar la respiración artificial	74
Pulmotor Draeger	76
Resucitador Bratt	76
Lungmotor	76
Resucitador Novita	77
Reglas a observar en el tratamiento de los intoxicados	78
Inyecciones de lobelina	80
Inyecciones de oxígeno	84
Transfusión de sangre	85

CAPÍTULO VIII

¿Puede llegar el óxido de carbono a determi- nar intoxicaciones crónicas?	87
--	----

CAPÍTULO IX

Generalidades sobre los métodos de análisis de aire que contenga óxido de carbono	91
Empleo de la sangre como absorbente	92
Empleo del óxido de plata	97
Empleo de la hopcalita	99
Empleo de los cloruros metálicos	99
Empleo del anhídrido yódico	101
Aparato de Graham	103

CAPÍTULO X

Avisadores prácticos del óxido de carbono ...	110
Experimentos del <i>Bureau of mines</i> de los Es- tados Unidos sobre el empleo de las ratas y canarios como avisadores del CO	110
Avisadores fijos	113
Avisadores Siemens-Halske	113
Toxímetro Guasco	114
Aparato de Simmance y Levy	115
Avisador del <i>Bureau of mines</i>	118
Avisadores portátiles	118
Avisador alemán	119
Avisador inglés	121
Avisador de Potin	121
Avisador de Dejust	123
Avisador al nitrato de plata amoniacal	124
Avisador americano	126
Avisador francés	126
Conclusión	133

DEL MISMO AUTOR

	<u>Ptas.</u>
<i>El óxido de carbono en las minas</i> , folleto de 65 páginas, con siete figuras (agotado).	
<i>Incendios y fuegos subterráneos</i> , libro de 232 páginas, con 72 figuras	12
<i>Estado actual de nuestros conocimientos sobre el carbón</i> , libro de 232 páginas, con 46 figuras ..	10
<i>Cerramiento de una zona de fuegos</i> , segunda edición. Folleto de 40 páginas, con tres figuras	2,50
<i>Preparación mecánica de los carbones</i> , fascículo primero. Generalidades. Folleto de 82 páginas, con 10 figuras	5
<i>Preparación mecánica de los carbones</i> , fascículo segundo. Métodos de concentración en el agua. Libro de 166 páginas con 94 figuras	12,50
<i>Preparación mecánica en seco de los carbones</i> , Libro de 228 páginas, con 66 figuras	10
<i>Algunas ideas sobre la génesis de los carbones</i> , segunda edición. Volumen de 123 páginas, con dos figuras	7,50

EN PRENSA

Proyecto de un lavadero de carbón. Estudios preliminares.

Mascarillas protectoras contra el óxido de carbono. Su empleo en minas y fábricas.

EN PREPARACION

Los peligros de la mina, el grisú.

Manual de seguridad del minero de carbón.

Preparación mecánica de los carbones, tomo 2.º