

mecánicos, y el proyecto, siendo muy completo, fué devuelto por juzgar insuficientes los planos presentados, y, entre otras causas, por no ser dueño el peticionario de los terrenos que debían ocuparse, y por creer que el presupuesto no se hallaba conforme con lo prescrito en el párrafo 3.º del art. 8.º de la Instrucción (Real decreto de 14 de Junio de 1883).

Nada diremos de la forma en que se solventaron los dos primeros inconvenientes; pero debemos fijarnos algo en el tercero, acerca del cual, hallándose en lo firme el peticionario, no quedaba injustificada la pretensión del Ingeniero jefe. Estas deficiencias de la ley deben su origen á que no pudo prever cuando nació, que los grandes ríos, ó sean los considerados como flotables y navegables, pudieran discurrir encerrados dentro de una sencilla acequia, que ésta pudiera construirse en zanja ó en túnel, y que en muchos sitios, debido á la proximidad de otras vías de comunicación, especialmente ferrocarriles, debían ver en plazo no muy lejano anulada por completo la navegación, subsistiendo en parte insignificante para limitadas clases de maderaje, que no siempre sirve para la construcción.

En definitiva: ya que las circunstancias en el transcurso de veinte años han cambiado por completo, modifíquese y aclárese la ley con arreglo á las necesidades de las industrias modernas, sin perjuicio de las antiguas, y ya que según la Real orden que hemos citado del 1.º de Julio de 1882 conviene extender la protección para que, aprovechando las fuerzas vivas no utilizadas en los ríos, se *desarrolle el bienestar y prosperidad de los pueblos*, háganse estas modificaciones, simplificando trámites enojosos, con los cuales se pierde un tiempo por demás precioso, y dese toda suerte de facilidades á aquel que descubra y solicite un aprovechamiento.

Téngase en cuenta que son una parte insignificante las fuerzas vivas utilizadas en España, quedando muchísimo para explotar, y que este resto irá desapareciendo en cuanto, según pedimos, se modifique y aclare la ley con arreglo á las nuevas necesidades, evitando con gavelas onerosas la aparición de monopolizadores, que pidiendo saltos se hicieran dueños de ellos y quedaran en poder de otros tantos perros del hortelano, esto es, no utilizándolos ellos, ni consintiendo que los demás pudieran utilizarlos.

J. NOLLA Y ALÍU.

VENTILACIÓN DE TÚNELES

Consideraciones generales.

Observación.—La ventilación de los túneles constituye uno de los problemas más importantes que es preciso resolver en la construcción de los mismos, sobre todo cuando su longitud es considerable ó deben construirse con notable rapidez.

La cuestión de la ventilación presenta ante todo un interés de humanidad en lo que concierne á la salud de los obreros, y á más de este interés, que es capital y el más importante, hay también que mirar la cuestión desde el punto de vista económico, y en este concepto se encontrará siempre ventaja en los sacrificios que se hagan para realizar una buena ventilación, en atención á que el trabajo útil del minero se encuentra estrechamente ligado á las condiciones de la atmósfera en que trabaja.

El problema de la ventilación presenta dos fases distintas, una relativa á la temperatura y otra á la composición química de la atmósfera subterránea. Esta última es, por lo general, la más importante; pero en los grandes túneles puede serlo también la temperatura.

Causas de la alteración del aire en los túneles.—El aire en los túneles se altera de dos maneras distintas: por la sustracción ó pérdida de una parte de su oxígeno y por la entrada y mezcla de gases diferentes.

Causas de la sustracción del oxígeno del aire de los túneles.—La sustracción del oxígeno del aire se produce: 1.º, por la respiración de los obreros y de los animales que trabajan en el interior; 2.º, por la combustión de las lámparas que sirven para el alumbrado. Estos dos fenómenos son de la misma naturaleza; pues sustituyen el oxígeno por agua y ácido carbónico.

La sustracción del oxígeno se produce también accesoriamen- te por diversas acciones químicas que se desarrollan de una manera más ó menos latente, pero que se resumen habitualmente en fenómenos de oxidación de substancias minerales ú orgánicas, que no se hallaban saturadas de oxígeno y que son más ó menos combustibles.

Alteración del aire por la mezcla de materias extrañas diversas.—En cuanto á las materias extrañas que vienen á mezclarse con el aire, son desde luego las que resultan de las diversas acciones químicas, vapor de agua y ácido carbónico en el caso de que se haya verificado una combustión completa; ó bien el óxido de carbono, el azoe, el amoniaco, los hidrocarburos, el hidrógeno sulfurado y diversos cuerpos compuestos, conocidos con el nombre de miasmas, etc., etc., por la descomposición producida con una intervención incompleta del oxígeno ó aun sin ninguna intervención de este gas.

A esta nomenclatura se añaden las materias que resultan de ciertas acciones químicas especiales, tales como las de las aguas ácidas sobre los carbonatos; los gases y humos que produce la combustión de la pólvora y de la dinamita y demás explosivos que se empleen en la perforación; en fin, los polvillos que se levantan y pone en suspensión la misma perforación de los barrenos y sobre todo su explosión.

Estos polvillos finos (si no se trata de túneles en donde se encuentran minerales arseniosos ó mercuriales, en cuyo caso ejercerán la acción tóxica que produce su naturaleza) ejercen sobre los operarios una acción física ó mecánica por la irritación que producen en los órganos de la respiración. En donde se nota de una manera extraordinaria esta acción, es en las galerías en que se trabaja con perforación mecánica.

Si se trata de un túnel que se abre en terrenos muy secos y carboníferos, estos polvillos finos pueden inflamarse rápidamente al contacto de la llama que produce la explosión de un barrenno, produciéndose una verdadera detonación y hasta puede ocurrir que se incendien las maderas que formen la entibación sobre las cuales se encuentra depositado el polvillo del carbón.

La alteración del aire en un túnel tiene también lugar á causa de la penetración de gases á través de hendiduras aparentes ó de los poros de la roca, la cual, siendo á veces permeable á las aguas, lo es mucho más con respecto á aquellos. Los gases que pueden presentarse en esta forma son: el ácido carbónico, el hidrógeno carburado y el hidrógeno sulfurado.

El primero se encuentra á veces impregnando los terrenos de origen volcánico.

El hidrógeno carburado, conocido con el nombre de *grisou*, se encuentra alguna vez en las salinas, pero principalmente en ciertas hulleras.

El hidrógeno sulfuroso rara vez se encontrará; pero debe mencionarse á causa de su acción deletérea especial que le hace muy peligroso aun con cantidades muy pequeñas.

En general, todos estos gases rara vez se encuentran en la perforación de túneles, siendo más fácil encontrarlos en los trabajos de minas. Sin embargo, el *grisou* puede encontrarse con más facilidad, y por esta razón, y por las grandes y continuas desgracias que ha causado en los trabajos de minas, creemos deber ocuparnos de él con algún detalle.

Propiedades del grisou: su inflamación y yacimiento.—Se designa bajo el nombre de *grisou*, una mezcla compleja, eminentemente variable, cuya base esencial es el hidrógeno carburado. La proporción de este gas en la mezcla que constituye el *grisou*, alcanza algunas veces á 93 por 100, pero ordinariamente oscila entre 80 y 92 por 100. Los demás elementos que en mayor ó menor escala, según los casos, forman parte del *grisou*, son el ácido

carbónico, el oxígeno y el azoe, el hidrógeno bicarbonado y el hidrógeno puro.

La densidad del grisou tiene un valor intermedio entre el correspondiente al hidrógeno protocarbonado en estado de pureza, que es 0,53, y la unidad, que corresponde al aire atmosférico, según sea la mayor ó menor cantidad que de aquél entre en la mezcla: la media de las observaciones hechas parece dar, como densidad del grisou, el valor de 0,69. Es decir, que este gas es más ligero que el aire, y por consiguiente, se colocará perfectamente en el techo de las galerías, inversamente de lo que sucede con el ácido carbónico que, por ser más pesado, ocupa siempre la parte inferior. Es, por lo tanto, en la corona de las galerías donde deberán tomarse precauciones especiales, cuando se trabaje en terrenos que den aquel gas, siendo por la parte superior de los trabajos, es decir, por los pozos, por donde será preciso asegurar la evacuación natural del grisou. En cambio las lámparas que iluminen los trabajos deberán colocarse lo más próximas posible al suelo. Hay que observar, sin embargo, que no siempre se verifica una separación de capas entre el aire puro y el hidrógeno carbonado, sino que, por el contrario, si la mezcla ha experimentado cierta agitación, aquel gas queda disuelto en la masa de aire atmosférico y difilmente se separa ya de él.

El grisou es incoloro, inodoro é insípido. El olor que se le reconoce algunas veces, es debido á substancias extrañas, tales como el ácido sulfhídrico y el amoniaco.

El grisou no es venenoso, sino asfixiante, siendo por consiguiente, desde este punto de vista, menos peligroso que el ácido carbónico, que hace caer al hombre en la zona más cargada de este gas, mientras que la caída producida por la respiración del grisou, le aleja de la capa más peligrosa del mismo.

El grisou es un cuerpo combustible, cuyos elementos son susceptibles de unirse con el oxígeno del aire, para formar agua y ácido carbónico.

Un volumen de gas puesto en relación, en las condiciones que después indicaremos, con dos volúmenes de oxígeno, produce dos volúmenes de vapor de agua que se condensan y un volumen de ácido carbónico. Es decir, que la combustión del grisou hace desaparecer, después del enfriamiento, un volumen doble del que ocupaba en la atmósfera en presencia del exceso de oxígeno.

Esta combinación puede efectuarse de dos modos muy diferentes. Si un chorro de gas grisou puro se inflama dentro de una masa de aire igualmente pura, quema con una llama *blanca*. Si el grisou, previamente mezclado de aire en proporción conveniente, penetra en forma de chorro inflamado en una atmósfera de aire puro, quema con una llama *azul*, llama característica que se observa en varias minas. Finalmente, si una masa de aire que contenga grisou en las proporciones que vamos á indicar, experimenta el contacto de una llama, explota en toda su extensión con una gran detonación.

El estudio de estas proporciones tiene mucha importancia, por cuanto con sólo ligeras variaciones, dejan de ser inofensivas para ofrecer el mayor peligro. Si la cantidad de grisou no alcanza á ser 3 ó 4 céntimos de la masa total, no se observa nada especial por los medios ordinarios en la atmósfera subterránea. A partir de dicho límite, la llama de las lámparas empieza á rodearse de una aureola azulada, al mismo tiempo que se alarga y se hace fuliginosa. Con una proporción de 6 por 100, la llama resulta muy larga y la aureola fuliginosa se desvanece. Con 7 ú 8 por 100 de gas grisou, la inflamación se propaga á toda la masa con relativa lentitud, viéndose correr el fuego por el cielo de las galerías como si hubiera en ellas un reguero de pólvora, amenazando con una catástrofe inminente si en esta marcha encuentra regiones en que la proporción sea más fuerte. Si esto ocurre, la explosión es instantánea, alcanzando ésta su máximo de energía cuando la proporción es de 12 á 14 por 100. Pasando este límite se observa en orden inverso, una serie de fenómenos análogos á los descritos. Con la proporción de 20 por 100 se está en las mismas condiciones que si la mezcla fuera de 6 por 100; y á 30 por 100 la lámpara se apaga (1). En ciertos casos el límite in-

ferior de inflamabilidad del grisou desciende á la mitad del indicado. Por el contrario, las proporciones inflamables del grisou pierden algunas de sus propiedades en presencia del ácido carbónico.

La explosión del grisou puede también determinarse mediante una chispa eléctrica, circunstancia que debería tenerse en cuenta si se aplicase la electricidad para dar fuego á los barrenos en un túnel que atravesase terrenos susceptibles de desprender grisou.

La velocidad de inflamación del grisou no es constante, dependiendo de las proporciones de la mezcla. Es necesario no confundir la velocidad de la inflamación con la de propagación de la explosión á través de una galería.

El grisou se encuentra en ciertas hulleras, en cavidades de las rocas, en sopladuras y en algunas minas metálicas.

En los frentes de ataque de las galerías que se abren en ciertas hulleras se observa un abundante desprendimiento de grisou, que un oído atento percibe según un pequeño ruido particular parecido al de la lluvia ó al que ocasiona el agua momentos antes de la ebullición, cuyo ruido conocen los mineros con el nombre de *canto del grisou*. Este fenómeno és debido á la decrepitación de una multitud de partículas de hulla extremadamente tenues que se desprenden por la tensión de las burbujas de gas que tienden á escaparse de los poros del combustible.

En los primeros momentos de poner al descubierto las capas de hulla, es cuando las superficies de ésta vierten el grisou con mayor energía. Al cabo de algunas horas la actividad del desprendimiento se encuentra ya muy atenuada; continuará, sin embargo, pero disminuyendo más y más. Por este motivo, cuando se atravesase, con un túnel, un terreno carbonoso que desprenda grisou, es preciso conducir el avance con cierta lentitud. En efecto, siendo la salida del grisou proporcional á la extensión de las superficies puestas al descubierto, si se perforase el túnel con gran rapidez podría darse lugar á la introducción de verdaderos torrentes de grisou, y para evitarlo es preciso que el frente de ataque se sanee en un cierto espesor, lo que se obtiene por una duración conveniente de exposición al aire de una misma capa. Para lograr el mismo resultado, en algunos puntos se tiene la costumbre de *sangrar* el macizo antes de romperlo, practicando á este efecto agujeros de sonda que atraen progresivamente el grisou, disminuyendo así el que se desprende cuando avanza la perforación en la parte donde se habían abierto dichos agujeros.

En ciertos terrenos se encuentran cavidades llenas de grisou que se llaman *sacos de grisou*. Este, con el transcurso del tiempo, se ha ido acumulando en dichas cavidades, pasando á través de fallas que establecían una comunicación entre las mismas y terrenos carbonosos.

También aparece á veces el grisou bajo forma de fuentes de gas que se llaman *sopladuras*. Estas salidas de grisou se hallan en relación con fallas que, atravesando todas las formaciones, van á parar á terrenos carbonosos.

Finalmente, también se ha encontrado el grisou en ciertas minas de sal, hierro, plomo, cinc y cobre, no considerando necesario dar aquí explicación de cómo ocurren estos hechos, porque nos saldríamos con ello de los límites que racionalmente debemos dar á estas generalidades sobre el grisou.

Influencia de la difusión para evitar la alteración de la atmósfera subterránea.—Hemos expuesto las numerosas causas que producen la alteración del aire en los túneles, y nos parece éste el momento oportuno de estudiar la intervención que pueda tener en la referida alteración, la propiedad conocida en física con el nombre de *difusión de los gases*, en virtud de la cual dos gases cualesquiera colocados en dos recipientes que comunican entre sí, concluyen por mezclarse íntimamente y por constituir una masa perfectamente homogénea.

(1) Es inútil advertir que estas observaciones sólo pueden hacerse con una lámpara de seguridad.

En virtud de esta propiedad física, parece que el aire de un túnel, que siempre se halla en relación con la atmósfera, á lo menos por un orificio, no debería diferir por su composición del atmosférico ordinario. Sin embargo, por poco que se reflexione, se comprende que esto no puede ser, y que únicamente podría acontecer en un túnel en que no se trabajara y en el que, por consiguiente, no subsistirían las causas de alteración del aire, y en que si alguna de ellas, por circunstancias especiales, persistía, concluiría también por desaparecer bajo la acción, más ó menos lenta, de la difusión, y el túnel quedaría finalmente lleno de aire atmosférico ordinario.

En los túneles en construcción, las causas de alteración del aire, no sólo no son momentáneas, sino que son, por el contrario, esencialmente permanentes, y en las más importantes de estas causas, la potencia de ejecución está en relación directa con la actividad con que se ejecuta la construcción del túnel.

Si suponemos que el aire de un túnel se halla estacionado, los efectos de la difusión se hallarán en relación con su sección y longitud, y con la de los pozos ó galerías inclinadas que les pongan en comunicación con el aire exterior. Podrá, por consiguiente, suceder que en diversos puntos del túnel ó en todo él, la difusión produzca menos efecto que las causas de alteración del aire, y en este caso éste se irá viciando más y más, y concluirá finalmente por ser impropio para la respiración de los operarios y la combustión de las lámparas.

Este es el fenómeno que siempre se produciría en un túnel si el aire permaneciese estacionado, como hemos supuesto, y no hubiese medios de obtener una ventilación natural ó artificial.

Necesidad de suplir por medio de una corriente de aire la insuficiencia de la difusión ó de los agentes químicos.—Acabamos de ver la insuficiencia de la difusión para purificar el aire de los túneles; es preciso, por consiguiente, añadir, á la acción de la difusión, alguna otra complementaria para que con las dos reunidas se consiga el objeto deseado de que el aire de los túneles sea respirable.

Algunos han creído que esta acción complementaria, puede y debe buscarse en fenómenos químicos, fundándose en que, por ejemplo, una lechada de cal absorbe el ácido carbónico del aire, ó que el cloro empleado directamente en estado gaseoso ó en forma de cloruro de cal, destruye el hidrógeno sulfurado y los miasmas. De la misma manera se ha propuesto por algunos recoger el grisou en su punto de aparición y quemarlo en el mismo sitio ó conducirlo al exterior para que se vertiera en la atmósfera ó se le utilizara para el alumbrado.

Por poco que se medite, se comprende que estas ideas y procedimientos no pueden tener ningún valor práctico tratando de aplicarlos á la purificación del aire de los túneles.

La lechada de cal, por ejemplo, ejerce sólo una acción temporal y local, y no podría renovarse constantemente en todos los puntos en que fuese necesario. Asimismo, el exceso de cloro en el aire produciría un inconveniente del mismo género que el que se trataba de evitar. Del mismo modo, el aislamiento del grisou, practicable en los puntos en que se desprende en masas distintas, es inaplicable en la mayor parte de los casos, porque aparece, por decirlo así, en pequeños filetes elementales por todos los poros de la superficie de los puntos donde se trabaja, de la misma manera que acontece con las aguas de filtración.

Se ve, pues, que la acción complementaria de la difusión no puede encontrarse en la aplicación de medios químicos, debiendo racionalmente buscarse en la *introducción en el túnel de una nueva masa de aire* que diluya los gases perjudiciales en una masa total suficiente para que éstos resulten inofensivos y pase inadvertida su existencia; y en la *renovación sucesiva de esta masa total* con una rapidez tal que la cantidad de un gas perjudicial cualquiera, evacuado en un tiempo dado, sea por lo menos igual á la cantidad que del mismo puede desarrollarse en el interior del túnel en igual período de tiempo.

En una palabra, es preciso aplicar á un túnel, para suplir la insuficiencia de la difusión ó de los agentes químicos, los proce-

dimientos que la práctica universal ha adoptado para todos los casos que se trata de mantener habitable un espacio cerrado cualquiera en el que actúan, de una manera permanente, ciertas causas de alteración del aire.

El arte de producir esta corriente de aire y mantenerla en dirección é intensidad determinada, y el conocimiento de los medios que hay que emplear para distribuir dicha corriente en las proporciones debidas entre las diversas partes de un túnel, es lo que constituye el arte de la ventilación, de la que extensamente nos ocuparemos en los siguientes artículos de este capítulo:

Volumen de aire necesario para la ventilación.—Hemos visto ya en párrafos anteriores, cuántas son las causas que vician el aire de un túnel en construcción; se comprende, pues, que uno de los puntos más importantes que debe considerarse en la ventilación de los túneles, es fijar la cantidad de aire que ha de introducirse en éstos, para que los trabajos se hagan del modo debido. Reina gran desacuerdo entre las diversas indicaciones hechas por distinguidos Ingenieros respecto á este particular, lo que no es extraño dada la multiplicidad de influencias de que depende aquella cantidad.

El aire atmosférico contiene ordinariamente 0,04 por 100 de ácido carbónico; si por cualquier causa llega á contener 0,30 por 100 de dicho gas ó de otros igualmente nocivos, se le puede considerar ya como descompuesto, y si dicha proporción alcanza 0,5 por 100 debe reputarse pernicioso para una larga estancia en él. Este estado del aire viciado que se revela por la tosca llama de las lámparas, ocasiona molestias en los pulmones y dolores en los ojos; así es que los obreros, después de una larga permanencia en un aire en estas condiciones, sienten desaplicación al trabajo.

Para prevenir la descomposición y emponzoñamiento del aire interior, es preciso introducir en un túnel aire puro bastante para suministrar el oxígeno necesario para la respiración de los organismos animales y para expulsar el viciado. Esta cantidad será variable, según las causas locales que influyan en la alteración del aire, según el número de operarios y el de motores que se encuentran en el subterráneo y según el número de lámparas y la calidad y cantidad de explosivo empleado.

En un ambiente de condiciones ordinarias, no muy húmedo, y con una temperatura de 30° á lo sumo, se puede considerar que basta para alcanzar un buen resultado:

Por cada operario con lámpara, 240 m.³ de aire cada veinticuatro horas.

Por cada caballo, 720 m.³.

Por cada kilogramo de pólvora, 200 m.³.

Por cada kilogramo de dinamita, 300 m.³.

Cuando en un túnel se encuentre grisou, el volumen de aire que habrá que introducir será mayor del que se acaba de indicar. Según una instrucción dada por el Gobierno francés en 1872, relativa á la ventilación de minas, debe introducirse un número de metros cúbicos de aire por segundo que varíe entre $\frac{1}{20}$ y $\frac{1}{10}$ del número de toneladas extraídas cada veinticuatro horas. Según Haton, esta cifra será conveniente aumentarla para minas que tengan mucho grisou, así como será también insuficiente para minas poco productivas y de una red de galerías muy desarrollada. Inversamente dicha proporción será muy elevada para una mina de producción fuerte y concentrada. En Bélgica, en vez de la proporción antes indicada, se admite la de $\frac{1}{30}$.

EDUARDO MARISTANY.

(Se continuará.)

REVISTA EXTRANJERA

Adoquines de piedra y hormigón.

A Mr. Otto Pötch se le ha concedido privilegio de invención por un nuevo sistema para la fabricación de adoquines. Utiliza para la