

pleando las fórmulas (41) y (42) del párrafo 12, y un exceso de gasto si se aplican las (38) y (39) del párrafo 11.

No sucederá lo mismo con las fórmulas (35) y (36), las cuales darán ya una economía, en casos análogos al de la viga A, ya un aumento en los casos análogos al de la viga A'. Esto proviene de que el tanto por ciento de metal de las vigas de M. Hennebique es en extremo variable. La razón $n = \frac{\omega}{b h}$ que llega á

$$\frac{0,004530}{0,120} = 0,03775$$

en la viga A, se reduce en la A' á

$$\frac{0,001062}{0,120} = 0,00385$$

y hemos examinado un proyecto formado por uno de los concesionarios de M. Hennebique, en el cual esta razón era solamente 0,00287; es decir, algo menos de tres milésimas.

No es posible, á consecuencia de esta variabilidad extrema del tanto por ciento de metal de las vigas construidas por M. Hennebique, apreciar el precio medio de estas vigas sin recurrir á cálculos muy largos y enojosos. Pero hemos comprobado que los precios de las vigas rectangulares de M. Hennebique son unas veces mayores y otras menores que las calculadas por medio de las fórmulas del párrafo 10. Por consiguiente, se puede admitir que la media de los precios de estas últimas es próximamente igual á la media de los precios de las vigas de M. Hennebique. Volveremos á insistir sobre este punto en el párrafo 16.

Es fácil, por el contrario, comparar sin cálculos numéricos los precios de las vigas cuyas dimensiones se ajustan á las fórmulas de los párrafos 10, 11 y 12, como vamos á demostrar.

Según las explicaciones dadas más arriba, se puede escribir, designando, por π el precio de la viga por metro lineal,

$$\pi = 60 b h + 3000 \omega \quad (43).$$

Sustituyendo en vez de ω , $n b h$, se obtiene:

$$\pi = 60 b h (1 + 50 n) \quad (44).$$

La expresión (12) $M = \frac{r b h^3}{6}$, designando por γ la razón

$$\frac{b h^3}{M} = \frac{6}{r},$$

es decir, haciendo en ella

$$\gamma = \frac{6}{r} = \frac{b h^3}{M}, \quad (45)$$

dará

$$b h = \gamma \left(\frac{M}{h} \right) = \frac{6 M}{r h} \quad (46).$$

Introduciendo este valor en la relación (44), se encuentra

$$\pi = 60 (1 + 50 n) \gamma \frac{M}{h} \quad (47)$$

de donde se saca

$$\frac{\pi}{M} = \frac{60 (1 + 50 n) \gamma}{h} \quad (48)$$

fórmula que expresa el valor del coeficiente que se obtiene dividiendo por el momento resistente de una viga el precio por metro lineal de la misma; es decir, que expresa el precio de la viga por metro lineal y por kilogrametro.

La relación (47) demuestra que, á igualdad de las demás condiciones, el precio por metro lineal de las vigas que deben presentar el mismo momento resistente es inversamente proporcional á su altura; la relación (48) establece que lo mismo sucede

con el precio p r metro lineal y por kilogrametro. Estas relaciones confirman lo que hemos dicho en el párrafo precedente, á saber: que hay interés en dar á las vigas una altura tan grande como sea posible.

(Continuará.)

VENTILACION DE TUNELES ⁽¹⁾

(CONTINUACIÓN)

Si en el túnel del Mont-Cenis el tráfico aumentase mucho, entonces si que sería preciso pensar en hacer algo. Desgraciadamente, como nada se hizo al construir el túnel, sería ahora bien difícil obtener un resultado satisfactorio. En efecto, hemos visto que los únicos medios racionales y eficaces son, ó pozos accionados por hogares, ó ventiladores que actúen sobre la masa de aire del túnel con galerías intermedias paralelas á aquél. Pero, la perforación de pozos en los puntos de la montaña donde sería preciso situarlos, resultaría una obra difícil y costosa, y en algunos puntos completamente imposible; de la misma manera la construcción de galerías para los ventiladores, que será siempre posible, resultaría, sin embargo, mucho más costosa que si dichas galerías hubiesen sido ejecutadas simultáneamente con el túnel.

Pero fácil ó difícil, barato ó caro, el día que la necesidad lo imponga, la obra deberá irremisiblemente hacerse.

Estas consideraciones tienen una importancia tan grande que podemos afirmar que es, no solamente útil, sino necesario, preocuparse de la ventilación, y estudiar los medios de producirla de la mejor manera al mismo tiempo que se estudia el proyecto del túnel.

Si el perfil de la montaña permite la construcción de pozos para acelerar el trabajo de la perforación, será preciso dar á estos pozos las situaciones racionales indicadas por la teoría, situaciones que permitirán que los pozos más tarde puedan servir eficazmente para la ventilación.

Si los pozos no son posibles á causa de la gran altura del macizo encima del túnel, convendrá á medida que se vaya avanzando en la perforación y construcción de éste, construir debajo de su solera una galería de suficiente sección para que al propio tiempo que recoja las aguas de filtración del túnel, pueda más tarde, cuando la necesidad se presente, ser utilizada como tubería de aspiración para la ventilación.

En el Simplón, por ejemplo, cualquiera que sea el trazado que se escoja, de 16 ó 20 kilómetros, será un error imperdonable no preocuparse inmediatamente de las futuras exigencias de la ventilación. A lo que parece, los pozos no serán practicables en los puntos del túnel en que sería preciso instalarlos. La única solución posible para garantizar una buena y constante ventilación, será, pues, la de los ventiladores, cuyas instalaciones deberán colocarse en las dos bocas. Será, por consiguiente, preciso construir á todo lo largo del túnel, debajo de su solera ó detrás de los estribos, una galería cuya sección máxima de 3^m,00 X 3^m,00 en las bocas descienda hasta un minimum de 1^m,50 X 1^m,50 en el centro. En estas condiciones será siempre posible, cuando las circunstancias lo impondrán, producir artificialmente en el túnel la ventilación que se quiera, sin obliarse por esto á un gasto muy grande para poner en marcha los ventiladores. En efecto, con las dimensiones indicadas para la galería de aspiración, bastaría que la velocidad de aire en ella sea próximamente igual á la de la corriente en el túnel, lo que significa que su valor podrá ser de 8 metros por segundo poco más ó menos; y entonces, teniendo en cuenta la relación relativamente pequeña del perimetro al área de la sección en dicha galería, resulta que la altura de carga consumida por las resistencias pasivas no será extra-

(1) De «El Túnel del Argentera.»

ordinaria y, por consiguiente, la fuerza motriz para funcionar los ventiladores no será tampoco excesiva.

Por otra parte, el coste de la construcción de la galería de aspiración no será muy elevado, porque en definitiva no se trata más que de dar mayor importancia á la cuneta que siempre debe hacerse para las aguas; y aun si se quiere se podrá reducir algo la sección del túnel, haciendo, por ejemplo, la bóveda rebajada, invirtiendo en la construcción de la galería de aspiración las economías que se realicen en la galería principal.

Por lo demás, cualesquiera que sean estos gastos, no se les encontrará jamás exagerados si se piensa que se destinan al bien supremo de la higiene, y que lo que entonces se gaste economizará lo que después se debería gastar en mucha mayor escala.

Por consiguiente, no debe aprobarse ningún proyecto de túnel importante, si no contiene las disposiciones necesarias para establecer una ventilación artificial cuando la necesidad se presente.

Ventilación artificial parcial.—Cuando en 1871 se abrió á la explotación el túnel del Mont-Cenis, se vió inmediatamente que la corriente natural producida por las condiciones del trazado y de las temperaturas, no era suficiente, principalmente en el verano, para hacer salir bastante rápidamente el humo de las locomotoras y mantener siempre la atmósfera en condiciones de respirabilidad. Se vió también en seguida, después de comprender que era imposible la construcción de pozos ó la aplicación de ventiladores que actuaran mediante el cierre de una de las bocas, que se había cometido un grave error al no preocuparse, durante la construcción del túnel, de las futuras necesidades de la ventilación; es decir, de no haber ejecutado obras preparatorias, tales como galerías de aspiración para los ventiladores, que entonces habrían costado relativamente poco, y que hubieran hecho más tarde posible una ventilación completa.

En estas condiciones, como no se tenía por el momento intención de emprender estos trabajos, que hallándose el túnel en explotación habrían costado enormemente; como además la necesidad de una ventilación completa no era aún absoluta, y como, por otro parte, era preciso hacer algo para remediar los inconvenientes del momento, se decidió utilizar las máquinas de compresión que habían servido durante la perforación para engendrar con ellas una ventilación parcial.

Se decidió, por consiguiente, poner en movimiento la instalación de los compresores de Bardoneche que habían servido para maniobrar las perforadoras, y utilizarlos para impeler aire puro y fresco en el túnel. Esta instalación trabaja aún hoy día en las condiciones siguientes:

Siete grupos de compresores de bomba, sistema Sommeiller, teniendo cada uno cuatro émbolos ($0^m,60$ de diámetro, $1^m,60$ de carrera y 6 golpes por minuto) accionados por grandes bombas hidráulicas, sistema Poncelet, funcionan constantemente, y almacenan aire comprimido á 6 atmósferas en depósitos metálicos. Un tubo de fundición de $0^m,15$ de diámetro interior, colocado dentro del túnel, toma el aire de los depósitos y hace la distribución, por medio de derivaciones de tubos de plomo, cuyas llaves están colocadas en los burladeros.

Se concibe inmediatamente que este sistema sea sólo capaz de dar al túnel una pequeña cantidad de aire, á pesar de consumir una fuerza motriz muy grande; 12,500 kilómetros de tubos de $0^m,15$ de diámetro y toda la restante tubería de $0^m,025$ para las bifurcaciones, absorben en resistencias pasivas la mayor parte del trabajo motor, de manera que considerado desde el punto de vista de la renovación del aire en el túnel, el sistema no tiene ninguna importancia: sucede, en efecto, que proporciona á lo sumo 60 m^3 por minuto, mientras que debería dar, á lo menos, el mismo volumen por segundo.

Es evidente que para obtener, por este sistema, un efecto apreciable en relación con las necesidades de la ventilación general, sería preciso aumentar el número y dimensiones de los compresores, en proporciones extremadamente grandes, y aumentar también las dimensiones de las tuberías; pero aun en este caso

se continuaría teniendo una instalación muy mala como rendimiento, y que, por consiguiente, daría el metro cúbico del aire á un precio muy elevado.

De todas maneras, tal como se hizo la instalación en el Mont-Cenis, disponer de aire comprimido dentro del túnel es muy útil y apreciado por el personal de la vía, porque los chorros de aire puro sirven para engendrar, en medio del humo y de los productos irrespirables, pequeñas atmósferas ricas en oxígeno, vivificantes, refrigerantes, comparables, si así puede decirse, á los oasis de los desiertos, donde los empleados pueden refugiarse en caso de peligro, para respirar y almacenar oxígeno en sus pulmones.

Hecha esta instalación, se reconoció que era de gran utilidad para el personal, pero se comprendió también que no bastaba. Se estaba entonces en el principio de una explotación sin ejemplo: no se tenían empleados para un servicio de aquella naturaleza nuevo y difícil, y era natural que se tuviera que luchar con varias dificultades. Por otra parte, las malas condiciones de la respiración aumentaban con el tráfico, y al propio tiempo la opinión pública entre los viajeros empezaba á inquietarse á consecuencia de algunos inconvenientes cuya importancia se había exagerado. Entonces fué cuando la Compañía de la Alta Italia se vió obligada á tomar algunas otras disposiciones con objeto de mejorar, si no en realidad, lo que hubiera sido muy difícil, á lo menos en apariencia, las condiciones de ventilación del túnel.

Existían aún en aquella época (1873) bien conservados, los aspiradores que habían servido durante la construcción para ventilar el túnel. Se hizo en ellos las reparaciones necesarias y se pusieron en marcha. He aquí la disposición general de estos mecanismos, y cómo funcionan aun hoy día:

Cuatro máquinas hidráulicas alimentadas por una columna de agua de 70 metros de altura de carga, ponen en movimiento cuatro enormes bombas aspirantes, cuyos émbolos de campana tienen 5 m. de diámetro producen 7 golpes por minuto con una carrera vertical de $2^m,00$. Los cilindros de aspiración que forman juego con los émbolos, terminan en una cuneta de mampostería de $0^m,80 \times 0^m,80$ de sección, que recorre el túnel hasta su centro, cual cuneta ó tajea cerrada, en la que hay practicadas de trecho en trecho bocas de aspiración de $0^m,30 \times 0^m,45$, sirve también para recoger las aguas.

Se ve inmediatamente que estos mecanismos, con las dimensiones que tienen y en las condiciones que trabajan, no se hallan en relación con el servicio que deberían llenar. Como máximo, cuando todas las máquinas funcionan, lo que no sucede á menudo, á causa de las frecuentes reparaciones que necesitan, pueden extraer 12 m^3 de aire por segundo, lo que no es nada con relación á los 70 que sería preciso extraer conforme hemos dicho. Además, la sección de las bocas de aire, no hallándose convenientemente establecidas unas respecto á las otras, resulta que las primeras, es decir, las que están más próximas á la boca del túnel, proporcionan casi toda la cantidad de aire que aspiran las máquinas, de manera que no se nota apenas aspiración hacia el centro del túnel, ó sea en los puntos en que aquella sería más necesaria. Sin embargo, no se puede decir que los aspiradores sean completamente inútiles, y la Compañía de París-Lyon-Mediterránea hace funcionar las máquinas, bien sea porque por el momento no pueda hacerse nada mejor, ó por el efecto moral que los aspiradores en actividad han producido siempre en el personal que trabaja en el túnel.

Los gastos de toda clase que ocasiona el funcionamiento de estas dos instalaciones, de compresión de aire en Bardoneche y de aspiración de aire en Modane, alcanzan á 31.000 francos por año.

Es seguro que no se gastaría más, y que en cambio se podría tener una ventilación completa y perfecta en todo el túnel empleando ventiladores suficientemente poderosos, si durante la construcción de aquél se hubiesen preparado las galerías necesarias.

El túnel del Mont-Cenis es el único para ferrocarril que co-

nocemos, en el que se ha aplicado un sistema de ventilación artificial parcial con mecanismos para extracción del aire viciado é introducción de aire puro. Pero el ejemplo de que acabamos de dar una ligera descripción, basta para probar que el metro cúbico de aire extraído ó impelido resulta siempre á un precio muy elevado, sin duda alguna muy superior al que resultaría con una instalación racional para ventilación completa; que las ventajas que produce la ventilación parcial son muy pequeñas en comparación de los gastos que ocasiona; que la ventilación parcial sólo puede considerarse como un medio interino; y que siempre que sea materialmente posible, debe sustituirse por la ventilación completa.

Aparatos portátiles.—Para terminar con lo relativo á la ventilación parcial, nos queda algo que decir de los aparatos portátiles.

Hace unos diez y seis años que en la línea de Lyon, los maquinistas y fogoneros de los trenes de mercancías, en la sección de Alais á la Bastide, con máquinas de ocho ruedas acopladas, experimentaban á menudo desvanecimientos al pasar por los túneles, especialmente en el de Albespeyre.

Estos desvanecimientos provenían de la pequeña sección de los túneles relativamente á la producción de gases deletéreos que viciaban la atmósfera. Para evitar este inconveniente, M. Galibert ha inventado un aparato respiratorio, compuesto esencialmente de una caja de palastro con dos departamentos de 250 litros de capacidad cada uno, colocada encima de la plataforma de la máquina. De cada uno de los departamentos parte un tubo de caucho terminado por una boquilla.

El maquinista y el fogonero, al pasar por un túnel, se ponen en la boca una de las boquillas, aspiran el aire de la caja y desechan los productos de la espiración. Unas pinzas les impide aspirar por la nariz. La renovación del aire en la caja se hace por medio del aspirador Giffard.

Parece ser que los resultados de las experiencias hechas con este aparato no fueron muy satisfactorios, puesto que se los suprimió al poco tiempo de haber sido adoptados. Los ensayos que se han hecho en el túnel del Mont Cenis, con este mismo aparato reducido á una caja portátil para uso del personal de la vía, tampoco han sido satisfactorios. Los obreros, con este depósito en la espalda y con los accesorios de boquillas, pinzas, etc., aplicalos en la cara, se encontraban embarazados en sus movimientos, molestos para trabajar y no podían adosarse bien contra los estribos del túnel para evitar ser alcanzados por los trenes. Todos, estos inconvenientes, unidos á que las ventajas no eran muy grandes, decidieron abandonar por completo el uso de este aparato.

Existe otro aparato, recientemente inventado por el Ingeniero Carlos Valle, que parece destinado á prestar grandes servicios.

El aparato, al que su autor da el nombre de neumóforo, tiene por objeto enviar en poco tiempo sobre la plataforma de la máquina una gran cantidad de aire tomado en el interior del túnel en las condiciones más favorables. Los chorros de aire proporcionados por el neumóforo y engendrados por un mecanismo de ventilación accionado por el vapor de la caldera, expulsan el humo y los productos de la combustión de la atmósfera que rodea al maquinista y fogonero, hacen descender notablemente la temperatura, siempre muy elevada, que reina en la plataforma de la máquina, y hacen, por consiguiente, posible el paso de ciertos túneles, que indudablemente no lo serían sin el auxilio de la ventilación artificial.

El neumóforo se ha sujetado á experiencias muy minuciosas en varios túneles de la red de Paris-Lyon-Mediterranée, en particular en los más malos para la ventilación, tanto de dos vías como de una sola, y empleándose la triple tracción que anteriormente había sido preciso abandonar. Los resultados han sido muy satisfactorios, como se deduce de las conclusiones siguientes, con las cuales la Comisión de distinguidos Ingenieros que ha dirigido las experiencias, termina su dictamen:

1.^a El neumóforo Valle puede proporcionar 10 m.³ de aire por

minuto, aun cuando la presión en la caldera no exceda de cuatro á cinco atmósferas. El mecanismo ha funcionado siempre muy regularmente con un gasto de un kilogramo de vapor seco por minuto.

2.^a En la locomotora el neumóforo ha dado siempre aire casi sin humo y sin vapor, lo mismo en los túneles de dos vías que en los de una, y lo mismo con la doble que con la triple tracción.

3.^a La temperatura del aire que proporciona el aparato, es siempre igual á la del aire aspirado por el aparato mismo en las capas inferiores del túnel; se obtiene así una corriente á disposición del personal de la máquina con una temperatura muy inferior á la que ordinariamente existe en la plataforma de la máquina al atravesar un túnel.

4.^a Esta corriente de aire tiene también por efecto dispersar el humo y el vapor de la atmósfera que rodea al maquinista y fogonero.

Apoyándose en estos resultados, la Comisión ha propuesto y la Compañía de Paris-Lyon-Mediterranée ha aprobado, aplicar dicho aparato á un gran número de máquinas para continuar las experiencias en mayor escala.

Resumen.—Resumiendo la discusión que acabamos de hacer de la cuestión de la ventilación artificial de los grandes túneles, podemos formular las conclusiones siguientes:

1.^a Una ventilación artificial, completa y uniforme para todo el túnel, sólo podrá obtenerse por medio de pozos, donde éstos sean posibles, con la condición de que estén racionalmente proporcionados en altura, posición y sección, y que se active su corriente por medio de hogares bastante poderosos.

2.^a Si las condiciones de la montaña colocada encima del túnel no permite el establecimiento de pozos en las posiciones deseadas, el único medio eficaz de engendrar una ventilación en relación de las necesidades y condiciones del túnel es el de recurrir á la instalación de poderosos ventiladores de aspiración. Estos mecanismos podrán colocarse en una de las bocas del túnel para actuar directamente, en este punto, sobre la masa de aire á renovar, si las condiciones de la vía y de la explotación no son incompatibles con la aplicación y funcionamiento de un cierre en la boca del túnel donde se coloque el ventilador.

Por el contrario, cuando la aplicación de las puertas es inadmisibles, cuando, por consiguiente, las dos bocas del túnel deben utilizarse á la vez para la introducción del aire, las bocas de aspiración deberán distribuirse á lo largo del túnel y ser proporcionadas, en sección, con arreglo á las indicaciones que se han desarrollado en el curso de este trabajo, de manera que se produzcan corrientes que concurren todas al mismo fin sin perjudicarse unas á otras.

3.^a Es de la más alta importancia que la cuestión de la ventilación completa y regular en los grandes túneles se estudie al mismo tiempo que el proyecto del túnel, y es de desear que las Compañías, y en su defecto los Gobiernos, no den jamás aprobación á ninguno de estos proyectos si no contienen las disposiciones necesarias para establecer, en las mejores condiciones posibles, una ventilación artificial uniforme y completa.

4.^a La ventilación parcial debe sólo considerarse como un remedio interino; sus ventajas son siempre muy pequeñas, si se tiene en cuenta los gastos que ocasiona, y por consiguiente, sólo debe recurrirse á ella cuando la instalación para una ventilación completa no sea posible.

5.^a Finalmente, por lo que se refiere á los aparatos portátiles, que tienen por objeto dar, en lo posible, aire puro y fresco al personal de la vía y de las máquinas, no se ha inventado hasta ahora nada que sea de una utilidad indiscutible. La cuestión es necesario estudiarla todavía, y es, por consiguiente, conveniente que las Compañías que tengan un interés especial en la resolución de este problema, hagan en mayor escala experiencias con los aparatos que han dado ya, en los primeros ensayos, resultados satisfactorios.

