

ceso al contramuelle, en cuyas inmediaciones llegaron las socavaciones de las dunas que limitan la playa, hasta el pie de la carretera, poniéndola en tal peligro, que hubo necesidad de ordenar al contratista de las obras del contramuelle que arrojase, á lo largo de la parte socavada de la playa, la escollera necesaria para defender la carretera. Las socavaciones de que se trata continuaron en los años sucesivos, contribuyendo á ellas notablemente los dragados que en la embocadura de la ría se efectúan, pues como la corriente del flujo de la marea arrastra hacia la embocadura é interior de la ría las arenas que las olas ponen en suspensión al romper sobre la playa, de donde al ser dragadas y vertidas en alta mar, ya no vuelven á su lugar de origen, como antes sucedía con gran parte de ellas, por efecto de la marea descendente y temporales de Oeste, resulta ahora que la playa se va menguando con mayor intensidad que anteriormente. Hubo, pues, que continuar arrojando piedra en la escollera de defensa, y como ésta tenía un carácter provisional, interin se estudiara, aprobara y llevara á efecto el proyecto de las obras definitivas, se procedió á redactar el expresado proyecto definitivo para la protección de la playa, en el cual se utilizaba toda la piedra que, con carácter provisional, se había arrojado. Este proyecto se elevó á la Dirección general de Obras públicas en el mes de Octubre de 1898, y se aprobó con ciertas prescripciones, que luego indicaremos, por Real orden de 24 de Abril del corriente año, ascendiendo su presupuesto á 542.759 pesetas y 52 céntimos, que, según lo dispuesto por la Superioridad, ha de considerarse como adicional á las obras del contramuelle, y cuyos contratistas habrán de ejecutarlo.

El proyecto de que se trata comprende la construcción de un muro de defensa en toda la longitud de la playa, ó sea desde el muelle de Las Arenas hasta la avanzada de Algorta, en el cual se apoya una carretera ó camino de servicio, que será de gran utilidad. La longitud de esta obra es de 1.493 metros, y hay en ella, distribuidas, cada 100 metros próximamente, 12 escalinatas y 3 rampas, una de las cuales es doble.

Como en la época en que se redactó el proyecto, las socavaciones de la playa estaban comprendidas entre el perfil 76, contiguo al muro de acceso al contramuelle, y el perfil núm. 35, al aprobarlo la Superioridad, dispuso que se aplazara la construcción del muro en la parte comprendida entre el muelle de Las Arenas y el expresado perfil 35, así como el afirmado del camino de servicio, hasta que la experiencia demostrara la necesidad de estas obras, sin perjuicio de facultar al Ingeniero Director para que las realice desde luego en caso urgente y notoria necesidad; y como quiera que con posterioridad á la remisión del proyecto han aumentado las socavaciones de la playa hasta pasar del perfil 28, próximo al balneario, se dió orden al contratista del contramuelle, tan pronto como se recibió la orden de aprobación, para que procediera cuanto antes á construir las obras del trozo comprendido entre dicho balneario y el arranque de las obras de acceso al contramuelle, las que han dado principio en el mes de Junio. El ancho que en este trozo ha de tener el camino, es de 8 metros.

OBRAS DE DEFENSA Y CAMINO DE SERVICIO DE LA COSTA DE ALGORTA

Estas obras fueron proyectadas á petición del Ayuntamiento de Guecho-Algorta, que temía, con algún fundamento, que con la construcción de las obras del puerto exterior se concentrara la acción del mar sobre la costa donde se asienta el pueblo de Algorta y se aumentarán con ello las socavaciones y movimientos que aquellas laderas tenían desde tiempos anteriores.

Aquel Ayuntamiento ofreció contribuir con la tercera parte del importe de las obras, y bajo esta base se elevó el proyecto á la sanción superior, que recayó por Real orden de 29 de Septiembre de 1897, elevándose su presupuesto de contrata á la cantidad de 202.120 pesetas y 34 céntimos, que en la subasta celebrada el 9 de Diciembre y aprobada el día 20 del mismo mes, fué adjudicada á D. Bernardino Iturburu en la cantidad de 148.500 pesetas.

cada á D. Bernardino Iturburu en la cantidad de 148.500 pesetas.

Consisten estas obras, en un muro de defensa y camino adyacente, que tiene su origen en el punto de arranque del contramuelle, de donde continúa ciñéndose á la configuración de la costa, hasta terminar en la pequeña dársena de Algorta. Su longitud, según el proyecto, es de 1.153 metros; el ancho del camino es de 7 metros, y la rasante se halla en general á la altura de 7^m,50, sobre la bajamar equinoccial. Repartidas á 100 metros de distancia próximamente unas de otras, lleva escalinatas para descenso á la playa, y una rampa doble hacia el punto medio del camino, para que puedan bajar á la misma los carros que cargan arena, así como también las casetas de baños.

Desde el mes de Marzo de 1898 en que se dió principio á la construcción de estas obras, hasta el día 30 de Junio del mismo año, se construyó un trozo de muro de 280 metros de longitud, en toda su altura, y 200 metros más, con alturas variables, continuándose con actividad durante el año económico objeto de esta Memoria, pues á la terminación del mismo se hallaban construidos todo el muro y explanación, á excepción de 58 metros de longitud, contiguos al contramuelle, que se construirán en breve.

El pretil, hecho con mampostería de cemento de Portland, que corona el muro, se halla construido en 780 metros de longitud, á excepción del rejuntado de las caras verticales y enlucido de la parte superior. El adoquinado de la rampa y del pequeño trozo contiguo al puerto, que estaban comprendidos en el proyecto aprobado, se hallan terminados, no habiéndose procedido al afirmado de la línea general del camino, porque con motivo de haberse observado que las olas saltan sobre una parte de aquél durante los temporales, se ha propuesto adoquinarlo en 458 metros de longitud, además de los dos pequeños trozos que, para el principio y el fin del camino, estaban incluidos en el proyecto aprobado, en previsión del mismo fenómeno. Por razón de este aumento y de otros que han surgido durante la construcción de la obra, ya por la mayor profundidad á la que en general ha habido que descender las fundaciones del muro de defensa para encontrar el terreno firme, y mayor altura que se ha dado al muro en 415 metros de longitud, para que las olas no lleguen al camino con tanta facilidad, ya también por los aumentos de volúmenes de los terraplenes y desmontes, procedentes los primeros de las variaciones que la playa y laderas contiguas han tenido desde el año de 1889 en que se tomaron los datos para la redacción del proyecto, y los segundos de haber sido preciso desmontar las laderas que amenazaban moverse, ha habido necesidad de formalizar un presupuesto adicional, que, sometido á la sanción superior, fué aprobado por Real orden de 9 de Junio último. Su importe, con la deducción de la baja proporcional á la obtenida en la subasta se eleva á 63.361 pesetas y 91 céntimos.

VENTILACION DE TÚNELES

VENTILACIÓN ARTIFICIAL

Generalidades.—La ventilación natural en los túneles que atraviesan las grandes cordilleras, es muchas veces insuficiente y á menudo incierta é irregular, bien sea porque las temperaturas exterior é interior son poco diferentes, ó porque no hay bastante diferencia de nivel entre las bocas ó por las dos causas reunidas, ó, finalmente, por el dominio absoluto que pueden ejercer sobre la ventilación las perturbaciones meteorológicas de la atmósfera, perturbaciones que á causa de la montaña interpuesta no son en general ni isócronas ni de igual intensidad en las dos vertientes en que terminan los extremos del túnel.

Cuando se trata de túneles que no atraviesen grandes montañas, sino que crucen la tierra á poca profundidad de la superficie, como sucede en los ferrocarriles metropolitanos y en los que

cruzan por debajo los ríos, la ventilación natural es aún peor, ó mejor dicho, se puede decir que ésta no existe, porque en dichos casos, las circunstancias que, como hemos visto, producen los movimientos del aire, en los túneles de montaña, no existen ó tienen una importancia despreciable. En estos casos, en efecto, la diferencia de nivel entre las bocas y la diferencia entre las temperaturas son nulas ó casi nulas. Las variaciones barométricas son isócronas (porque no existe la montaña ni la acción variable de las vertientes para retrasar su propagación), lo que quiere decir que ejercen su influencia sobre las bocas en el mismo tiempo y con la misma intensidad, y no pueden, por consiguiente, ser causa apreciable de una corriente en ningún sentido.

La construcción de pozos-chimeneas, que será siempre útil en los túneles de montaña, donde, en general, la diferencia entre las temperaturas interior y exterior tiene un valor de cierta importancia, es á menudo, como hemos visto, un trabajo impracticable á causa del perfil que presenta la montaña sobre el eje del túnel.

En los otros túneles que podemos llamar de *llanura*, faltará casi siempre la fuerza motriz debida á la diferencia de temperatura, á causa de la pequeña sobrecarga del túnel. Por consiguiente, es evidente que los pozos ó chimeneas (en el supuesto de que sean factibles, lo que no sucederá en los que atraviesen los ríos) no podrán tener ninguna eficacia.

Hay que deducir, por lo tanto, que en los túneles de montaña, y con mayor motivo en los de *llanura*, como los medios de ventilación natural son insuficientes, si se quiere tener constantemente una buena ventilación, será preciso recurrir á los medios artificiales, entre los cuales se encontrarán siempre algunos que podrán producir una corriente tan intensa como sea necesario.

Los medios artificiales de ventilación de túneles pueden clasificarse en dos categorías diferentes, se á la naturaleza ó importancia del objeto que se propongan alcanzar.

La primera comprende los medios que tienen por objeto crear, en toda la longitud del túnel, unas ó varias corrientes continuas que renueven enteramente toda la columna de aire en un período de tiempo más ó menos corto. Estos son: 1.º, los hogares que activan el tiro de los pozos ó chimeneas; 2.º, las máquinas aspirantes ó impelentes que actúan sobre la columna de aire del túnel.

La segunda comprende aquellos otros medios, cuyo objeto, más modesto, es sólo dar lugar á una ventilación parcial, proporcionando aire puro en ciertos puntos especiales, como los bur-laderos; donde el personal pueda respirar á su satisfacción y llenar sus pulmones con oxígeno puro, para poder así resistir mejor la fatiga que produce la atmósfera malsana que haya en el resto del túnel. Comprende también los demás medios, que tienen por objeto proporcionar al personal de la vía y de los trenes, aire puro condensado en aparatos especiales, ó bien producir á su alrededor corrientes locales que, funcionando como refrigerantes, alivien notablemente la situación del personal que trabaja en el túnel.

Ventilación artificial completa.—Puesto que en un túnel la ventilación es tanto más activa cuanto la diferencia de nivel entre las bocas y la diferencia de temperaturas entre el interior y exterior son más grandes, es natural pensar en aumentar el valor de estas diferencias para acrecer la ventilación. Pero como aumentar la diferencia de nivel entre las bocas no es posible, en el sentido estricto de la palabra, es preciso obtener este aumento por medio de la construcción de pozos ó chimeneas, ó de cualquier otra cosa que produzca el mismo efecto.

Ya hemos visto, al tratar de la ventilación artificial, cuál es la eficacia de los pozos, y cómo y cuándo es preciso y conveniente recurrir á ellos. Queda, pues, por examinar ahora si es asimismo conveniente aumentar la diferencia de temperatura, es decir, acrecer la temperatura interior, que generalmente es superior á la exterior.

Hogares.—Desde luego podría contestarse afirmativamente á

esta cuestión si fuese fácil en la práctica producir el aumento necesario en la temperatura, con un medio cualquiera diferente de la combustión. Es evidente que entonces, haciendo abstracción del coste, muy grande en todos los casos, sería posible obtener una ventilación activa, bien fuera en los túneles sin pozos, pero con sus bocas á alturas diferentes, bien en los otros túneles cualquiera que fuese la forma de su trazado, pero provistos de pozos.

Pero las cosas cambian de aspecto si la elevación de la temperatura del aire en el túnel debe hacerse por medio de hogares alimentados por combustible ordinario. En este caso, es preciso distinguir entre los túneles abiertos solamente por sus bocas y los provistos de pozos.

Si existen pozos, su fuerza de tiro podrá ser considerablemente aumentada mediante la instalación de hogares alimentados con carbón y colocados, bien sea en su base, bien en puntos racionalmente escogidos de su altura; pero estos hogares es necesario que sean alimentados con aire proveniente del túnel, porque si se tomase aquél del exterior, como después de la combustión tiene que salir por el pozo, se correría el riesgo de no obtener ninguna ventaja. En efecto, mientras que por un lado se aumentaría con el hogar el tiro del pozo, por el otro se disminuiría su sección útil destinando una parte á la salida de los productos de la combustión.

Si, por el contrario, se trata de túneles que comuniquen con el exterior únicamente por medio de sus bocas, es fácil probar que con los hogares de combustible ordinario, las condiciones de respiración del aire se empeoran, de manera que, á pesar del auxilio que produce una ventilación más activa, las condiciones generales de ésta se empeoran también en vez de mejorarse con relación á las necesidades á las cuales debe satisfacer.

Para poner en evidencia la verdad de lo que acabamos de manifestar, basta considerar que los hogares alimentados con combustible ordinario y distribuidos en el interior del túnel producen dos efectos contrarios. Al aumentar la temperatura media de la columna de aire interior, crece también la velocidad de la corriente, y, por consiguiente, la renovación completa será más rápida; pero al mismo tiempo los hogares empeoran las condiciones de la atmósfera á causa del ácido carbónico y de los otros productos deletéreos que vierten en ella y, por lo tanto, se origina de aquí la necesidad de que afluya del exterior mayor cantidad de aire para disolver los nuevos gases irrespirables. En otros términos, se tendrá sin duda con los hogares una corriente de aire más activa y abundante; pero se tendrá también necesidad de mayor cantidad de aire para hacer posible la respiración. Bastará, por consiguiente, que este aumento en el volumen de aire, debido á la necesidad de diluir los productos de la combustión, sea más grande que el aumento obtenido en la corriente por efecto de la nueva temperatura, para que los beneficios que nos prometimos de los hogares se conviertan en verdaderos perjuicios.

Es realmente de esta manera que el fenómeno se produce. Sabemos, en efecto, que el volumen de los productos irrespirables de la combustión, es directamente proporcional al peso del combustible que se quema, y, por consiguiente, al aumento de temperatura que dan los hogares. Por lo tanto, si para obtener el aumento de un grado es necesario producir un volumen v de ácido carbónico, para incrementos de 2, 3... grados será preciso producir 2 v , 3 v ... de este gas; y, por consiguiente, para disolver estas cantidades se deberá atraer del exterior volúmenes de aire que crezcan en la misma proporción, ó lo que es lo mismo, aumentar la velocidad de régimen de la corriente.

Pero, por otra parte, la fórmula que nos da esta velocidad de régimen en función de los datos geométricos y técnicos del túnel, nos enseña que es proporcional, no á la primera potencia, sino á la raíz cuadrada del exceso de la temperatura interior sobre la temperatura exterior.

Por lo tanto, mientras que los hogares pondrán al túnel en la necesidad de dar paso á un volumen de aire a , aumentarán sólo la potencia del tiro en la proporción de $\sqrt{a}$.

Se comprende, pues, que por poco que se quiera aumentar la temperatura interior, sucederá que los aumentos en el tiro no serán suficientes para compensar el de la ventilación necesaria, á consecuencia de los nuevos gases deletéreos que se desarrollan en el túnel. Por consiguiente, las condiciones de ventilación empeoran con los hogares, en vez de mejorar como se creía.

Un ejemplo numérico de un caso especial nos dará idea más completa de la importancia del fenómeno.

Hemos visto, en uno de los anteriores párrafos, que en el túnel del Mont-Cenis, durante los fuertes calores del verano, la ventilación natural resultaba insuficiente, y que la velocidad de la corriente descendía hasta 0^m,68 por segundo, mientras que debía ser de 1^m,58 al menos para poder atraer del exterior todo el volumen de aire puro necesario para disolver los productos de la combustión de las locomotoras y ponerlos en situación de no ser perjudiciales á la respiración.

Supongamos, pues, que nos encontrásemos en estas circunstancias, que son aquellas en las que la necesidad de la ventilación artificial se hace sentir con más fuerza; y propongámonos aumentar, por medio de los hogares, la velocidad hasta el límite de 1^m,58.

Determinemos ante todo, qué aumento será preciso obtener para la temperatura media interior á fin de lograr el incremento deseado en la velocidad de régimen; y después veremos en qué relación se encontrarían el aumento en el tiro así producido, y el que sería necesario para disolver los nuevos gases producidos por los hogares.

Por medio de la fórmula (2) que da la velocidad de régimen, si suponemos que la temperatura exterior sea, en los mayores calores, $T = 273^{\circ} + 20^{\circ}$, encontraremos que en el Mont-Cenis para obtener las velocidades de 0^m,68 y 1^m,58, las temperaturas absolutas correspondientes en el interior, deberían ser:

$$273^{\circ} + 22^{\circ} \text{ y } 273^{\circ} + 31^{\circ} 56'$$

es decir, que para pasar de una á otra velocidad, es preciso aumentar en $9^{\circ} 56'$ la temperatura interior.

Pero si se tiene en cuenta que á estas temperaturas el peso de 1 m.³ de aire es aproximadamente de 1 kg,29, y que su calor específico es 0,24 de caloría, se deduce que para elevar en un grado la temperatura de 1 m.³ de aire, será necesario darle un número de calorías igual á $1,29 \times 0,24 = 0,31$. Por consiguiente, para elevar de $9^{\circ} 56'$ la temperatura de toda la masa de aire del túnel, que es de 502.200 m.³ próximamente, se habrá de dar á esta masa la suma de calorías:

$$9,56 \times 0,31 \times 502.200 = 1.486.000.$$

Con la velocidad de 1^m,58 por segundo, para renovarse por completo la columna de aire, tiene necesidad de $\frac{12.240}{1,58} = 7.740''$.

Esta columna lleva consigo y dispersa en seguida en este período de tiempo, todo el calor que ha recibido, y que será, por consiguiente, preciso renovar. Es decir, que en cada hora será necesario dar al aire del túnel una suma de calorías igual á

$$1.486.000 \times \frac{3.600}{7.740} = 391.200.$$

Una parte de este calor será absorbido por conductibilidad á través de las paredes del túnel. No tenemos datos prácticos ni coeficientes conocidos para calcular esta pérdida. Sin embargo, para tenerla en cuenta supondremos que sea de 30 por 100, lo que probablemente será inferior á la realidad. Encontraremos así que será preciso, en cada hora, producir y verter en la atmósfera del túnel una cantidad de calorías que podemos evaluar en 899.000, y que para producirlas se habrá de quemar un peso de hulla, dado por

$$\frac{899.000}{7.000} = 128 \text{ kg}, 40.$$

Este peso de combustible que suponemos contiene 88 por 100 de carbono puro, producirá un volumen de ácido carbónico de

$$128,40 \times 1,61 = 207 \text{ m.}^3,$$

y para disolverlos en la proporción de un metro de aire por un litro y medio de ácido, será necesario aspirar del exterior un volumen de 138.000 m.³ por hora.

Peró, por otra parte, el aumento efectivo en el volumen de aire aspirado que se puede obtener por el incremento de velocidad producido por el aumento de temperatura, será sólo de

$$(1,58 - 0,68) \times 3.600 \times 41 = 132.840 \text{ m.}^3$$

He aquí, pues, cómo el aumento en el tiro sería inferior á lo necesario, y cómo, por consiguiente, en este caso los hogares empeorarían las condiciones de la ventilación, sin contar los gastos en pura pérdida para la instalación y funcionamiento de los hogares.

Por lo tanto, es preciso deducir de todo lo expuesto, que los hogares serán útiles solamente en los casos que se puedan instalar en la base ó en el interior de los pozos de ventilación, es decir, de manera que los gases deletéreos producidos por la combustión, no se mezclen con la atmósfera de la galería, y en este caso la eficacia de los pozos será proporcional á la actividad de los hogares.

Ventiladores.—Por el contrario; el problema de la ventilación de un túnel cualquiera, podrá siempre resolverse de la manera que se desee, tanto si se tiene necesidad de una ventilación completa dentro del túnel, como si se trata de producir una ventilación especial en un sitio determinado, con la instalación de uno ó varios ventiladores suficientemente poderosos, mediante la condición de que sus bocas de aspiración estén racionalmente distribuidas, como hemos visto debe suceder con los pozos, y con tal que cada boca tenga una sección y potencia de tipo convenientemente calculada relativamente á su situación.

Cuando el cierre de una de las bocas del túnel por medio de puertas que se abran solamente durante el paso de los trenes, no dé lugar á graves inconvenientes para la seguridad y facilidad de la explotación, la resolución del problema es muy sencilla.

La posición natural del ventilador estará entonces en la extremidad misma del túnel á que se aplique el cierre. Convendrá casi siempre escoger la boca más alta con objeto de utilizar el tiro natural que se producirá en el caso de un exceso en la temperatura interior sobre la exterior. Decimos casi siempre, porque la mayor parte de veces la superioridad será de la temperatura interior.

Pero si en algún caso especial sucediera lo contrario, entonces como la corriente natural será en sentido descendente, el ventilador deberá instalarse en la boca inferior.

La boca de aspiración del ventilador deberá abrirse directamente, ó por interposición de una pequeña galería de unión, en las paredes del túnel.

El problema así planteado queda completamente determinado y su resolución es sólo cuestión de aritmética. Hallándose fijada, por la columna de aire, la velocidad del régimen necesaria y suficiente para dar una buena ventilación, se tendrá inmediatamente el medio de determinar el gasto diario del ventilador; y entonces, en virtud de los datos geométricos del trazado, de la longitud y de la sección del túnel, se deducirá la depresión ó altura de carga, que el ventilador deberá poder producir en su boca de aspiración, y en seguida podrán calcularse las dimensiones y el régimen de funcionamiento del mecanismo.

Esta solución del ventilador aplicado á la boca del túnel, suprime las tuberías intermedias de aspiración, que son siempre necesarias en los otros casos, y que aquí se confunden con el túnel mismo. Por esta razón, esta solución es siempre de muy fácil realización y la más económica de todas, tanto desde el punto de vista del coste de instalación, como de los gastos de funcionamiento. Pero, como ya hemos dicho, está subordinada á la posibilidad de cerrar el túnel y tendrá muy raras aplicaciones, como, por ejemplo, en el caso que no pasaran al día más de seis ó siete trenes.

En todos los otros casos, es decir, cuando las dos bocas deban estar continuamente abiertas y tengan, por consiguiente,

que ser utilizadas las dos en la elección conveniente para proporcionar el aire exterior que debe sustituir al viciado en el interior, las bocas de aspiración de los ventiladores y las fuerzas correspondientes de tiro en cada uno, deberán ser distribuidas y calculadas racionalmente en relación á las condiciones del trazado geométrico del túnel y á las de temperatura del aire interior con relación al exterior. Y todo esto deberá arreglarse de tal suerte que las bocas de aspiración se dividan el trabajo, sin que la acción de las unas turbe la de las otras, de manera que la ventilación sea, en lo posible, uniforme en todo el túnel, y sobre todo que en ninguna parte se produzcan detenciones en la corriente por efectos de tiros contrarios.

El principio dominante que debe regular la distribución, y las proporciones de las bocas de aspiración, es idéntico en teoría al que hemos desarrollado para los pozos ó chimeneas.

Las fórmulas que hemos establecido para determinar la posición de los pozos, pueden servir perfectamente para fijar las bocas de aspiración de los ventiladores, con la única observación de que la cantidad que para el ventilador representa la depresión, corresponde idénticamente á la cantidad que en la fórmula (2) bajo el radical, tiene por expresión

$$h \left(\frac{\theta}{T} - 1 \right)$$

en que h es la altura del pozo que se compara con el ventilador. Si, por consiguiente, en virtud de las consideraciones racionales previas, se ha fijado la depresión a (expresada en columna de aire) que deberá producir el ventilador, por medio de la ecuación:

$$a = h \left(\frac{\theta}{T} - 1 \right) \dots \dots \dots (10)$$

se podrá determinar la altura h que sería preciso dar á un pozo para ponerle en condiciones de producir la misma aspiración. En seguida, sustituyen 'o este valor de h en la fórmula (7), se deducirá, por el mismo procedimiento que para los pozos, la posición del centro natural de los tiros, que es la que corresponde, bien sea á la chimenea, bien á la boca de extracción ó aspiración del ventilador.

Naturalmente, como se desprende de la consideración de la fórmula (10), este procedimiento podrá sólo aplicarse en el caso en que sea posible contar con una cierta constancia en la relación $\frac{\theta}{T}$ de las temperaturas interior y exterior. Pero esta constancia no existirá por lo regular, y entonces valdrá más no tener para nada en cuenta el valor muy variable de $\frac{\theta}{T}$, suponer

por el contrario que riempre $\theta = T$, y fijar la posición de la boca del ventilador, como se haría si el peso específico de la columna de aire interior del túnel fuera idéntico al del aire exterior, y no tuviera, por consiguiente, tendencia á moverse en ningún sentido. En este caso, es evidente que el centro natural de los tiros se confunde con el centro del túnel, tanto cuando la diferencia de nivel entre las bocas del túnel es nula, como cuando tiene un valor finito cualquiera.

Esta conclusión se desprende, por otra parte, de las fórmulas establecidas. En efecto, si en la fórmula (10) suponemos $\theta = T$, como a es, por hipótesis, una cantidad finita, se deduce que h debe ser infinito. Pero si trasladamos á esta condición de $h = \infty$

á la ecuación (5), encontraremos $x = \frac{L}{2}$ por efecto de un razonamiento inverso al que en la misma ecuación nos ha dado

$$h = \infty, \text{ para } x = \frac{L}{2}$$

Por consiguiente, el mayor número de casos, cuando se trate de la instalación de un ventilador para el cual la depresión producida en la boca de aspiración es siempre una cantidad independiente de las oscilaciones de las temperaturas, convendrá su-

poner que el centro natural de las corrientes sea el centro mismo del túnel y fijar en este punto una de las bocas de extracción.

Si la boca de extracción es única, no habrá más que determinar sus dimensiones de manera que, con la altura de carga previamente fijada, pueda gastar en cada unidad de tiempo el volumen de aire necesario para producir en el túnel la ventilación que se desea.

Pero si además de la boca principal se cree conveniente construir y hacer funcionar otras bocas, y convendrá hacerlo por consideraciones de economía en la instalación y en la explotación cuantas veces esto sea posible, estas nuevas bocas deberán distribuirse á un lado y otro de la primera, y ser proporcionales, tanto en sección como en fuerza de aspiración, de manera que se forme una línea de tiros simétricos con relación al tiro central.

Esta distribución racional de las bocas de aire deberá calcularse por las mismas consideraciones y razonamientos que hemos desarrollado al tratar de los pozos secundarios con relación al principal.

Los elementos geométricos y dinámicos de cada boca de aire y sus posiciones correspondientes, una vez fijadas, como queda dicho, no será difícil, teniendo en cuenta las alturas de carga que se consumirán á causa de los rozamientos contra las paredes de las tuberías de aspiración intermedias, determinar las posiciones del ventilador ó ventiladores que sea necesario instalar.

Respecto á la situación de los mecanismos de ventilación, no es posible precisar nada en tesis general. Todo dependerá de las circunstancias locales, de la posición de los puntos en los cuales se tenga la fuerza motriz disponible, de las dificultades más ó menos grandes que será preciso vencer y del coste más ó menos considerable para la instalación de las tuberías de aspiración que terminen en las bocas de aire colocadas en el interior del túnel. Naturalmente, en cada caso especial, entre todas las soluciones posibles, se deberá dar la preferencia á aquella para la cual resulte la menor longitud de tuberías secundarias, porque de esta manera, á la vez que se reducirán los gastos de instalación, se disminuirán también los de explotación.

En general, no convendrá recurrir á la solución más lógica y natural, que consistiría en servirse, para las galerías de aspiración, de tubos de hierro instalados en el interior de la sección del túnel, porque estos tubos, que en todo caso deberían tener dimensiones muy considerables (2 y hasta 3 metros de diámetro), ocuparían un sitio de que rara vez se dispondría en el túnel, sin contar que, restringiendo de esta manera la sección del mismo, se empeorarían considerablemente las condiciones de relativa holgura que debe tener.

Se tendrá, por el contrario, una buena solución perforando galerías paralelas al túnel y exteriores á su sección, bien sea bajo el balaste, en cuyo caso podrán servir como de alcantarillas colectoras de las aguas de filtración, bien sea colocadas al lado de los estribos. Estas galerías deberán ser de dimensiones tales, que la altura de carga consumida por el rozamiento y demás resistencias pasivas, no sea excepcional. La cantidad que se deberá gastar en su construcción se encontrará compensada con las economías de fuerza motriz y por la mayor eficacia del funcionamiento de la instalación.

Entre los ventiladores conocidos hasta hoy día, parece que deben preferirse los ventiladores aspirantes de fuerza centrífuga, sistema Guibal, que en varias grandiosas instalaciones hechas durante los últimos años han dado un excelente rendimiento.

Las dos instalaciones de ventilación que se han construido en Inglaterra en 1886, en los túneles que atraviesan los ríos Severn y Mersey, son verdaderamente dignas de ser mencionadas y estudiadas de una manera especial.

El túnel bajo la Severn se halla establecido debajo de la desembocadura de este río, y pone en comunicación directa la ciudad de Bristol con la de Aberdan, situada al Sud del país de Gales. La longitud total del túnel y sus inmediaciones es de 9 kilómetros; la del túnel propiamente dicho, es de 7.250 metros, de

los cuales 3.620 están situados debajo el río; el túnel es de dos vías y tiene una sección de 40 metros cuadrados. Las dos bocas se hallan próximamente al mismo nivel, y la temperatura media interior siendo sensiblemente igual a la exterior, ya que el punto más bajo del túnel dista sólo 43 metros del nivel de estiaje del río, se comprende que ninguna ventilación natural fuese posible. Ha sido, por consiguiente, necesario sustituir ésta por la artificial, lográndolo con la instalación de un gran ventilador de aspiración, sistema Guibal, de 12^m,20 de diámetro, capaz de proporcionar 114 m.³ de aire por segundo, lo que permite que la columna de aire del túnel pueda ser completamente renovada en 42 minutos; y como la boca para la aspiración del aire se ha fijado próximamente en el centro del túnel, resulta que cada uno de los trozos de aquél se halla recorrido por una corriente de 1^m,425 por segundo. En estas condiciones, suponiendo que el consumo de combustible por cada kilómetro de tren sea de 14 kilogramos, y si se exige que la proporción de los productos irrespirables, como el ácido carbónico, no exceda de 2 litros por cada metro cúbico de aire (comprendiendo naturalmente en éstos los $\frac{5}{10.000}$

de ácido carbónico que ordinariamente contiene el aire atmosférico) el túnel de la Severn se halla en condiciones de dar paso a 92 trenes próximamente cada veinticuatro horas, sin que su atmósfera resulte perjudicial a la respiración.

Se puede, por consiguiente, afirmar que la instalación hecha para el túnel de la Severn, es suficiente para garantizar una excelente ventilación, aun cuando el movimiento de los trenes tomase una importancia excepcional.

Ejemplo de otra poderosa instalación de ventilación artificial, es la del túnel bajo el río Mersey. Este túnel situado entre Liverpool y Birkenhead tiene una longitud de 1.206 metros debajo el río propiamente dicho, y una longitud total de 4.000 metros próximamente. Las bocas se hallan sensiblemente al mismo nivel, y el punto más bajo dista 39 metros del nivel ordinario de las aguas. El túnel es para dos vías, con una sección de 39 m.²

En estas condiciones, lo mismo que en el túnel bajo la Severn, no es posible ninguna ventilación natural. Por otra parte, este túnel (1), tan pronto como fuese abierto a la explotación, debía hallarse en condiciones de luchar victoriosamente, como medio de transporte de viajeros, con los vapores de la Mersey que hacían un excelente servicio. Era preciso, por consiguiente, que el túnel se estableciera en condiciones higiénicas tales, que no sufrieran una comparación desventajosa con la travesía en vapor, que permite al viajero disfrutar del aire libre y puro; era, pues, preciso evitar las filtraciones, humedades, malos olores, humo, etc. Eliminar todos estos inconvenientes y dar al túnel la mejor de las ventilaciones posible, fué el problema que se propusieron los autores del proyecto, y lo resolvieron en las condiciones siguientes:

Suponiendo los trenes espaciados de cinco en cinco minutos durante todo el día, se fijó la cantidad de combustible consumido en 12 kilogramos por minuto, lo que da lugar a un desprendimiento de 19,50 m.³ de gases irrespirables, y para diluirlos han encontrado que era preciso introducir en el túnel 13.000 m.³ de aire puro exterior. Para llegar a este resultado, se han construido dos instalaciones de ventilación en la proximidad de los dos muelles. En cada instalación se colocaron dos ventiladores sistema Guibal, con obturador Walcker, de 12^m,20 de diámetro y 3^m,34 de ancho el uno, y 9^m,15 y 3^m,04 el otro.

Cada ventilador se halla afecto al servicio de un trozo de túnel, con el que se comunica por medio de una tubería circular de 2^m,13 de diámetro, paralela al túnel, y que penetra en éste por las bocas de aspiración convenientemente distribuidas en diferentes puntos.

Cada ventilador se pone en movimiento por dos motores sis-

temo Compoun, una máquina horizontal de condensación y como reserva una vertical de alta presión, acopladas directamente sobre el eje del ventilador, de suerte que la sustitución de una máquina a otra puede hacerse con un intervalo muy pequeño. Así se evita todo el peligro de interrupción en la ventilación.

Después de numerosas experiencias hechas en varias circunstancias para ver la manera de funcionar las dos instalaciones, se ha encontrado que el cubo de aire viciado extraído por los cuatro ventiladores es de 16.400 m.³ por minuto. Lo que prueba que se ha alcanzado sobradamente el objeto que los autores del proyecto se propusieron.

No conocemos ni en Europa ni en América ninguna otra aplicación grandiosa de ventilación artificial completa de túneles para ferrocarriles, que sea comparable a los dos ejemplos de que acabamos de dar una ligera idea, y que prueban de una manera concluyente, que sea cualquiera el caso que se presente, con una ó varias instalaciones de ventiladores convenientemente proporcionados, será siempre posible producir una ventilación tan activa como sea necesaria.

Felizmente, la necesidad de la ventilación artificial no resulta verdaderamente imperiosa y absoluta sino cuando se trata de túneles muy largos, que deben dar diariamente paso a un crecido número de trenes. Pero los túneles muy largos recorridos por considerable número de trenes, son muy raros. En el Mont-Cenis, en el San Gotardo, y en el Arlberg, que hoy por hoy son los más largos del mundo, el número diario de trenes no excede en ninguno de 35. En estas condiciones, una ventilación artificial completa en todo el túnel, que ciertamente sería útil, sobre todo en el Mont-Cenis, no es todavía absolutamente necesaria.

(Se continuará.)

ESTABILIDAD

de las construcciones de hormigón de cemento armado,

POR

C. BONCORPS (1).

Fórmulas aproximadas para el cálculo de las vigas rectas simplemente apoyadas por sus extremos y provistas de una sola armadura colocada cerca del intradós.

1.º *Objeto de esta nota.*—El hormigón de cemento está a la orden del día. Unos afirman que este material permite construir económicamente obras muy sólidas. Muchos lo ponen en duda.

Encargado de examinar ciertas proposiciones presentadas para la ejecución de construcciones de cemento armado, me he visto en la necesidad de estudiar esta cuestión. Habiendo observado desde un principio que las disposiciones proyectadas se justificaban por cálculos cuyas bases parecían poco admisibles, procedí a algunas investigaciones. De ellas ha resultado que las fórmulas empleadas por los autores de los cálculos citados, han sido criticadas hasta por los más apasionados propagadores del hormigón armado. (*Ciment.*, 1897, pág. 234, y 1898, páginas, 10, 74, etc.)

Por otra parte, un sabio de gran autoridad, el Ingeniero Jefe M. Considère, ha publicado recientemente en el *Génie civil* una Memoria en la cual declara que las fórmulas a que hemos aludido se fundan en dos errores teóricos: la uniformidad de la presión en toda la superficie comprimida, y la igualdad de los momentos de las tensiones y de las presiones tomadas con relación al eje neutro (18 de Febrero de 1899, pág. 245), los cálculos

(1) Este túnel constituye la principal vía de comunicación entre la ciudad de Liverpool, que tiene 550.000 habitantes y 30 kilómetros de longitud de muelles sobre el río, y su arrabal de Birkenhead, que tiene 85.000 habitantes y 15 kilómetros de muelles.

(1) *Annales des Chemins vicinaux.*