

LA VENTILACION,

TEMPERATURA, ENFRIAMIENTO Y HUMEDAD DEL AIRE EN EL GRAN TÚNEL
DE «SAINT-GOTHARD.»

(Conclusion.)

La *temperatura media de la roca* del túnel era primitivamente de 23°,43; la *temperatura media del aire*, era:

El 29 de Febrero	1880	{ Al medio día, despues }	21°,69
El 11	»	{ del perforamiento de }	19°,80
El 24	»	{ la galería. . . . }	14°,15

Estas tres cifras, que corresponden al *mismo mes* del año, se pueden comparar, pero no se deben tomar como *temperaturas medias anuales*; deben considerarse más bien como *minimos medios*. El 2 de Octubre de 1880, por ejemplo, la temperatura media del túnel era de 22°,24, despues de haber descendido el 2 de Abril del mismo año á 19°,12. Con las grandes corrientes de aire, la influencia de la temperatura exterior se hace sentir, del lado de donde vienen estas corrientes, á una gran profundidad en el túnel. Por esta causa el 18 y 19 de Febrero de 1882, con una corriente del Norte de 2^m,84 por segundo, la temperatura descendió gradualmente en el espacio de 24 horas, en el kilómetro 8, de 20°,4 á 20°. La corriente del Sur hace subir la temperatura con mayor rapidez.

HUMEDAD DEL AIRE.

El grado de humedad del aire en el túnel, que tanta influencia ejerce en la salud de los operarios, ha tomado proporciones más favorables despues de terminado el túnel, segun resulta de las observaciones hechas el 11 de Febrero de 1881 y el 24 de Febrero de 1882. Con una corriente del Norte fuerte y sostenida, la humedad relativa de la parte próxima del punto culminante del túnel (kilómetro 8) es 0,89 (24 Febrero de 1882) y aún de 0,81 á 0,815 (18 y 19 Febrero de 1882). A partir de este punto hácia el Sur se eleva hasta 0,95.

Cuando reina corriente del Sur, la parte meridional del túnel no está nunca tan seca como la parte septentrional con corriente del Norte.

En la proximidad de los extremos del túnel, las corrientes especiales que se forman modifican el grado de humedad del aire, lo mismo que la temperatura.

VENTILACION.

La corriente de aire natural, á través del túnel, depende de la diferencia de la presión atmosférica en las dos vertientes del *Gothard*, la cual varía con la altura barométrica, la temperatura y la humedad. La corriente viene del lado donde reina la mayor presión y su velocidad aumenta como la raíz cuadrada de la diferencia que existe entre las presiones de las vertientes.

La columna de aire de 36 metros de altura en el túnel puede aumentar ó disminuir la velocidad de la corriente, según que sea más ligera ó más pesada que el aire exterior y según que la corriente se dirige del Norte al Sur ó en sentido contrario.

La dilatación del aire, al penetrar en el túnel calentándose, lo mismo que los rozamientos de todas clases, son otros tantos obstáculos á la circulación del aire. Los rozamientos disminuyen á medida que avanzan los trabajos y el revestimiento del túnel.

Por lo cual, con las mismas condiciones atmosféricas, circulará por el túnel terminado un volumen de aire mucho mayor.

Las condiciones precedentes están resumidas en las fórmulas siguientes:

Llamando:

v .—Velocidad (en metros por segundo) de la corriente natural.

d' peso de 1^m de aire en la parte Norte (Gäschenen).

d'' id. id. id. Sur (Airolo).

μ el coeficiente de efecto correspondiente á las resistencias debidas á los rozamientos de toda clase.

Se tendrá:

Para la corriente del Norte:

$$v = \mu 281,8 \sqrt{d' - d'' + 0,0003}$$

Para la corriente del Sur:

$$v = \mu 281,8 \sqrt{d'' - d' - 0,0003}.$$

El número 0,00032 proviene de la diferencia del peso del aire entre el medio y extremos del túnel. Desde el principio de la perforación de la galería de avance, hasta el 11 de Febrero de 1881, 1^m de aire pesaba en el centro del túnel $0^k,0734$ á $0^k,1592$, término medio $0^k,1246$ menos que simultáneamente 1^m de aire en las bocas. El término en cuestión variaba, por lo tanto, entre 0,00019 y 0,00041; de admitir como constante el término medio de 10 series de observaciones, ó sea 0,0003.

La mayor diferencia entre el peso del aire del túnel y el del aire exterior ha sido hasta ahora en primavera, y la menor en Otoño, y en resumen debe disminuir gradualmente. Los días 18 y 19 de Febrero de 1882, era de $0^{\circ},0821$, de modo que para estos dos días el término $0,0003$, debía haber sido reemplazado en la fórmula por $0,0002$.

Las densidades d se calculan fácilmente por medio de las alturas barométricas correspondientes b en milímetros, reducidas á 0° y á la línea media de los extremos, y combinadas con las temperaturas del aire t° en Gäschenen ó Airalo, segun la fórmula.

$$d = \frac{0,00171 \times b}{1 + 0,00367 t}$$

La influencia de la humedad del aire, hasta el presente, no se ha tenido en consideracion.

En cuanto al coeficiente μ , resumiendo el efecto de todas las resistencias debidas al rozamiento, etc., aumentó gradualmente á medida del avance de los trabajos; en efecto, ha variado de $0,004$ á $0,080$.

Resulta de las observaciones, que desde el 29 de Febrero al 14 de Abril de 1880, no ha circulado por el túnel á causa de las resistencias considerables debidas al rozamiento, etc., por término medio, más que $0,007$ del volúmen de aire, que hubiese podido dar la corriente natural, sin obstáculo alguno.

Desde el 18 de Setiembre de 1880 al 11 de Febrero de 1881, el efecto medio de la circulacion ha sido $0,019$, es decir, 2,7 veces más intenso.

Para poder juzgar la cuestion de la ventilacion del túnel, es preciso determinar, por medio de observaciones directas continuas, el coeficiente de efecto de la corriente de aire natural en el túnel terminado. Para este objeto, se trató de medir la velocidad del aire á partir de la ventana de un wagon, que formaba parte de un tren atravesando el túnel (en este caso la velocidad del tren debía adicionarse algebraicamente á la velocidad indicada por el anemómetro); esta tentativa no pudo realizarse por formarse enseguida al lado del tren unas corrientes separadas, que hacían ilusorios los resultados obtenidos por esta medida.

Observaciones anemométricas prolongadas durante varias horas en diversos puntos del túnel, han permitido probar que los trenes atraviesan el túnel perturbando las corrientes naturales, y por lo tanto, haciendo confusas las medidas aisladas de la velocidad del aire.

No queda más medio que hacer las observaciones abrazando un período de veinte y cuatro, y que indican una velocidad *media* dependiente de las condiciones atmosféricas, así como del conjunto del movimiento de los trenes.

Una série de observaciones continuas se hicieron el 18 y 19 de Febrero de 1882, en la parte culminante del túnel hácia el kilómetro 8; á continuacion se reproducen los resultados:

Altura barométrica reducida á 0°	{ Gœschenen.....	674mm.
	{ Airolo.....	669,5
Temperatura.	{ Gœschenen.....	—0°,8
	{ Airolo.....	+1°,1
Peso dél metro cúbico de aire..	{ Gœschenen.....	d' = 1 ^k ,1560
	{ Airolo.....	d'' = 1 ^k ,1403

La seccion libre del túnel era de 43m²,20 y la velocidad media de la corriente del N. fuerte y continua 2m,84 por segundo.

Introduciendo estos factores en la fórmula indicada anteriormente, se encuentra para la velocidad teórica del aire 35m,68, y por consiguiente, para coeficiente de efecto:

$$\mu = \frac{2m,84}{35m,68} = 0,0796.$$

Desde 1880-81 y despues de haber desaparecido todos los obstáculos que se oponian á la circulacion del aire, el efecto de la ventilacion natural del túnel se ha mejorado en la relacion 0,0796 á 0,019, es decir, 4,2 veces.

Si el coeficiente μ estuviese determinado con más exactitud, continuando las medidas empezadas para diversas condiciones atmosféricas tipos, se terminaría por poder calcular á cada instante el sentido y la fuerza de la corriente de aire á través del túnel por medio de las solas observaciones meteorológicas de Gœschenen y Airolo.

Introduciendo en las fórmulas anteriores para valor de μ el coeficiente 0,0796, determinado por la última série de observaciones, estas fórmulas serían:

Corriente del N:

$$V = 22,43\sqrt{d' - d'' + 0,0003}$$

Corriente del S:

$$V = 22,43\sqrt{d'' - d' - 0,0003}$$

Una velocidad de 1 metro es suficiente, con el horario actual de los trenes, para quitar una vez al día, por lo ménos, todo el humo del túnel. La corriente del N. llega á esta velocidad, cuando 1 metro cúbico de aire pesa 0^k,00167 más en la boca N. Este excedente de peso supone que con

una temperatura de 0° en las dos vertientes, elevándose en la parte Norte á 0mm,96 encima de su altura normal 667mm,75, mientras que se mantiene en la parte S. á su altura normal (664mm,37).

El mismo fenómeno se realiza cuando el barómetro está á su altura normal en las dos vertientes, mientras que el aire está á $0^{\circ},4$ más caliente en la parte de Airolo que en la de Göschenen.

La corriente del S. adquiere esta misma velocidad de 1 metro, cuando el metro cúbico de aire pesa $0^k,00231$ más en la parte S. que en la N., es decir, que el barómetro sube en Airolo á 1mm,35 por cima de su altura normal, ó que la temperatura del aire en Airolo es de $0^{\circ},55$ inferior á la temperatura simultánea en Göschenen.

Se ve por lo dicho, como las menores variaciones atmosféricas en las dos vertientes del Gothard, son suficientes para cambiar la corriente de aire natural á través del túnel ó hacerla oscilar. Las observaciones demuestran que las probabilidades son mayores para la corriente del N. que para la del S.

Se acaba de determinar la velocidad de las corrientes de aire en el túnel; pero bajo el punto de vista de la ventilación, es tan importante el determinar los cambios de las corrientes determinadas por las condiciones atmosféricas externas.

Las observaciones meteorológicas hechas durante varios años en Göschenen y en Airolo, dan sobre este punto los datos que se desean. Se han formado unas tablas que comprenden cada día las alturas barométricas y termométricas observadas y las densidades del aire que resultan, á saber: d' para Göschenen y d'' para Airolo.

Las tablas demuestran que, cuando la diferencia de densidad $d' - d''$ es positiva, es decir, que hay excedente en Göschenen, se produce una corriente del N., mientras que la corriente del S. corresponde á una diferencia $d' - d''$ negativa, es decir, á un excedente de densidad en Airolo.

BIBLIOGRAFÍA.

EXPERIENCIAS EN OBRAS DE FERRO-CARRILES, CARRETERAS, CANALES Y EDIFICIOS, RELATIVAS AL TIEMPO Y COSTE DE LA MANO DE OBRA Y MATERIALES INVERTIDOS, POR D. PEDRO LAHUERTA Y SANCHEZ (1).

Uno de los problemas de solución más difícil que se presentan en la redacción de los proyectos de Obras públicas, es, sin duda alguna, el relativo

(1) Véase la Bibliografía del Boletín de la Revista número 8.