

**Túnel de Mont'Dor**  
en la línea franco-suiza de Frasné a Vallorbe, de acceso al Simplon

POR

ELEAZAR LEZAETA A.

---

(Resumido del *Génie Civil*)

---

Las galerías de avance del túnel de 6 kilómetros de Mont d'Or se encontraron el 2 de Octubre de 1913.

Durante los trabajos de perforación se tropezó con dificultades excepcionales, que han hecho esta obra notable, aun cuando no es grande su longitud.

La línea de Frasné a Vallorbe ha sido estudiada por mi distinguido profesor de la Escuela de Puentes i Calzadas de París, señor Séjourné. Pasa entre los lagos Remoray i Saint-Point, por una región pantanosa, en la que ha habido que ejecutar trabajos importantes, i atraviesa los contrafuertes del Jura, en la frontera franco-suiza, por el túnel de Mont d'Or de 6 100 metros con pendiente única hacia Suiza. La longitud total de la línea es de 25 kilómetros (22 500 en Francia i 2 500 en Suiza).

Un 38% es en curva, cuyos radios mínimos son de 500 metros, i 87% en pendientes, cuyo máximo alcanza a 15 ‰. Los rieles de acero de la vía pesan 48 kilogramos el metro.

El túnel, casi todo en línea recta i de doble vía, está en pendiente continua de 13 ‰.

Los trabajos del ferrocarril se iniciaron en Setiembre de 1910.

La constitución geológica e hidrológica de las montañas en que debía abrirse el túnel, era poco conocida, i hubo que hacer estudios destinados a determinar, en lo posible, las condiciones en que se efectuaría la perforación del subterráneo proyecta-

do. Se pueden resumir las conclusiones de estos estudios, que emanaban de personalidades reputadas por su conocimiento profundo de la jeología e hidrolojía del Jura, diciendo que el túnel se consideraba que sólo debía atravesar calcáreos con algunos bancos de marga, i se preveía vertientes de agua al fin del primero i quinto kilómetro. Su gasto total, deducido de análisis minucioso de la estructura del terreno, de la hidrolojía i de la meteorolojía de la rejion, se avaluó entre 300 i 600 o a lo mas 950 litros por segundo, volúmen que se consideraba fácil de evacuar por el acueducto proyectado de  $0,60 \times 0,60$  metros de seccion.

Dado el perfil longitudinal, con pendiente única hácia Suiza, el túnel debía ser ejecutado a partir del lado de Suiza, siendo mui reducido el rol de las faenas que se pusieran por el lado de Francia a causa de las dificultades de agotamiento de las aguas.

La boca Suiza se atacó el 14 de Noviembre de 1910, i la boca Francia el 21 de Julio de 1911.

Del lado suizo, durante mas de 4 kilómetros, los trabajos siguieron su curso normal: el avance se hacia por una galería de base de 7 metros cuadrados, seguida a poca distancia por otra superior, con la que se comunicaba por pozos que servian para la evacuacion de los desmontes. Se ensanchaba la galería superior i se construía la bóveda sobre cimbras metálicas, quitándose despues el diafragma que quedaba entre las dos galerías, i ejecutando por fin los piés derechos desde abajo.

La naturaleza de los terrenos atravesados no fué enteramente conforme con las indicaciones hipotéticas de los jeólogos.

En Diciembre de 1912 se entró en una calcárea fisurada, cuyas aguas estaban retenidas por marga azul; a 4 273 metros de la boca Suiza i 1 827 metros de la boca Francia, el avance atravesó una pequeña falla de 0,50 a 0,60 metros de ancho, rellena de arcilla amarilla. El 23 de Diciembre de 1912, a las 7 de la mañana, el avance habia pasado 93 metros adelante de esta falla, cuando de repente el tapon de arcilla que la cerraba cedió, haciendo irrupeion una cascada que saltó en la galería, por el lado derecho a 1,50 metros sobre el radier, con un gasto de 3 000 litros por segundo. Este acontecimiento produjo un pánico del cual resultó una colision entre dos trenes de servicio, felizmente sin accidentes personales.

El mismo día se agotó una de las tres vertientes de «Bief Rouge» cerca de la poblacion de Métabief, a 5 kilómetros del túnel i a 84 metros por encima de la vertiente producida en el subterráneo.

Las vertientes de Bief Rouge, cuya enerjía alimenta varias usinas riberanas, son: la vertiente Carrée (951,49 metros), la de Clos Bayet (952,70 metros) i la de Creuse (956,30 metros). Esta última se secó el 23 de Diciembre de 1912, día de la inundacion del subterráneo, reapareció el 27, i se secó nuevamente el 29; las otras dos se secaron el 25.

El gasto de la vertiente del subterráneo que bajó el 25 de diciembre a 700 litros por segundo, subió rápidamente, despues de lluvias torrenciales i de fundicion de nieves, hasta alcanzar a 5 000 litros por segundo el 28 i 29 de Diciembre; el agua que

corría en todo el ancho del túnel, arrastró a la salida 17 000 metros cúbicos de terraplenes, vías, edificios, etc. El gasto disminuyó en seguida considerablemente, para mantenerse, a partir del 10 de Enero, entre 350 i 400 litros.

Por la boca Francia, el avance se hizo por una galería superior, que se ensanchaba para construir inmediatamente la bóveda. El avance por este lado llegó hasta los 1 056 metros (i 5 044 metros por la boca Suiza) i en este punto se abrió un pozo para el encuentro con la galería de base del ataque Suiza, el que tuvo lugar, como lo hemos dicho, el 2 de Octubre en curso.

Por el lado Francia, el gasto de agua, que la contra pendiente obligaba a agotar con bombas, no pasó nunca de 40 litros por segundo.

*Trabajos exigidos por la aparicion del agua.*—Por el lado de Suiza la situacion era grave i habia que remediarla cuanto ántes: el agua, remojando la marga sobre la que se escurria, podia provocar derrumbes; por otra parte, la estincion de las vertientes de Bief Rouge, con las reclamaciones que de ella resultaban, necesitaba tambien medidas inmediatas.

Fué decidido, en consecuencia, atajar provisionalmente la vertiente de agua: se ejecutó, aguas abajo de ésta, un tranque de albañilería en forma de cuña, de 7 metros de espesor, despues de haber colocado sobre el suelo de la galería dos tubos, que atravesaban el tranque i aseguraban, durante su construccion, el escurrimiento de las aguas.

Una vez terminado el tranque, las válvulas de los tubos fueron cerradas el 17 de Enero de 1913, El 19 de Enero, 46 horas despues de haber cerrado las válvulas, las aguas reaparecieron en la vertiente de Carrée; tres horas mas tarde, la vertiente Clos Bayet corria de nuevo; i en fin, el 23 de Enero le tocaba su turno a la vertiente de Creuse: el arroyo de Bief Rouge estaba reconstituido: era, pues, evidente que estaba alimentado por el mismo conducto que la vertiente del túnel.

Al abrigo del tranque, los trabajos de perforacion i las albañilerías, pudieron proseguirse.

Como medida prévia, se prolongó hasta el tranque el acueducto del túnel, capaz de escurrir 1 000 litros por segundo.

Una vez terminado el acueducto, fué posible vaciar el agua acumulada detras del tranque: esta operacion tuvo lugar del 21 al 24 de Febrero i fué inmediatamente seguida de la demolicion del tranque.

A partir del 15 de Marzo, a consecuencia de lluvias continuas i de la fundicion de nieves, el gasto de agua en el subterráneo, que no habia pasado de 400 litros por segundo despues de la destruccion del tranque, volvió a ser i quedó mui elevado, paralizando frecuentemente las faenas: bastaban 1 200 litros para hacer imposible el acceso al subterráneo.

*Encuentro de una segunda vertiente.*—El avance, que habia podido a pesar de todo ser restablecido de una manera intermitente durante este tiempo, habia descubierto en el punto 4 357 kilómetros, en el cielo i en el eje de la galería de base, fisuras por las cuales saltaban chorros verticales de un gasto total de unos 12 litros por

segundo. El 17 de Abril de 1913, se alcanzaba el punto 4 407 kilómetros; este día una lluvia no interrumpida, acompañada de una fundición abundante de nieves del Mont d'or, hacia crecer el gasto de agua en el subterráneo; un obrero estaba, a las 9 de la mañana, ocupado en perforar un hoyo de mina al pié del ángulo izquierdo de la frente de ataque, cuando su barreno le fué bruscamente lanzado por un violento chorro de agua, que saltó de abajo hácia arriba por el hoyo de mina hasta una distancia de 20 metros, con un gasto de 250 litros por segundo, derribando a los hombres que encontraba a su paso.

El subterráneo fué evacuado en la noche del 17; el gasto total alcanzó a 10 000 litros por segundo durante la noche.

No fué posible entrar al subterráneo sino el 19, i se constató entonces que las pequeñas vertientes del punto 4. 357 kilómetros se habían estinguido i que la vertiente del 23 de Diciembre no daba mas que 40 a 50 litros por segundo. Toda el agua, o casi toda el agua, venia del avance, i en un volúmen tal, a causa de las lluvias, que el túnel fué inaccesible durante toda la semana.

Los tres acontecimientos del 17 de Abril: aparecimiento en el punto 4 407 kilómetros, de una vertiente abundante (denominada vertiente B), estincion de las venas de agua anteriores, total para la pequeña vertiente del kilómetro 4 357, casi total para la gran vertiente del 23 de Diciembre de 1912, en el kilómetro 4 273 (denominada vertiente A), demuestran por su simultaneidad, la existencia de relaciones directas entre esos diversos puntos. Todas las venas de agua se han producido en la parte amarilla i muy fisurada de la calcárea que sigue a la marga oxfordiana, con esclusión de la parte gris de esta calcárea, que es compacta i poco fisurada. Parece que el conducto natural de aduccion de la vertiente A reúne el de la vertiente B, pasando bajo la galería de base.

Despues de este nuevo accidente, se volvió a seguir el avance, contorneando la segunda vertiente por una desviacion provisoria, i la perforacion pudo acabarse sin encontrar otra dificultad grave.

---

Espondremos brevemente los medios materiales puestos en obra, hablando primero i principalmente del ataque suizo, el solo que se ha podido, en razon de la pendiente única del túnel, dotar de una organizacion perfecta.

#### INSTALACIONES DEL LADO DE SUIZA

*Instalaciones mecánicas.*—La enerjía es proporcionada por la usina de «Fuerzas del lago Joux» (su descripcion en el *Génie Civil* de 25 de Febrero i 4 de Marzo de 1905), bajo la forma de corriente trifásica a 13 500 volts.

La usina de las compresoras de aire absorve la mayor parte de esta enerjía, i contiene: de una parte cuatro unidades, dos de 320 caballos, una de 200 i otra de 100

caballos, en las que se comprime a 8 kilogramos el aire destinado a los instrumentos de perforacion; de otra parte, tres unidades de 220 caballos cada una, que producen aire a 150 kilogramos para la traccion de los trenes en servicio; sea para estas siete máquinas, una potencia total de 1 600 caballos, de los cuales 940 para la perforacion i 660 para la traccion.

*Perforacion.*—La perforacion, en la galería de base, ha sido efectuada, segun la naturaleza de la roca por atacar, por medio de martillos neumáticos Meyer o de grandes perforadoras Meyer, en número de cuatro por cureña. El aire comprimido, enviado de la usina por una canalizacion de 0,18 metros de diámetro, llegaba a estos instrumentos a una presion de 7 kilogramos.

El dia era dividido en tres turnos de 8 horas. Cada turno hacia término medio dos ataques de 12, 15 i aun 20 hoyos de mina de 1,50 metros de profundidad; cada hoyo era cargado con 2 o 3 kilogramos de dinamita-goma con 93% de nitroglicerina. La galería de avance tenia 3,50 metros de ancho abajo i 3 metros de altura; el avance era de 1 metro por ataque, habiendo llegado a 1,25 i aun 1,40 m.

Para la perforacion de la galería superior, los ensanches i estroso, se usaban martillos neumáticos Meyer.

*Ventilacion.*—La altura máxima de Mont d'Or sobre el túnel no alcanza a 500 metros; no habia, pues, que temer un calor excesivo en el subterráneo, i en efecto, la temperatura de la roca en el avance no fué nunca superior a 17°.

La ventilacion, que ha consumido en 24 horas, hasta 700 000 metros cúbicos de aire, fué realizada al principio por dos ventiladores Sulzer de 50 caballos, colocados en la boca del subterráneo; a estos se agregaron despues, tres ventiladores de 50 caballos colocados al interior del subterráneo, sea en total 250 caballos empleados en la ventilacion.

*Trasportes.*—En el túnel de Mont d'or es en el primero en que se ha empleado via de 1 metro de trocha para los trenes de las faenas. La importancia de los trasportes efectuados justifica esta trocha: se han evacuado hasta 700 metros cúbicos de desmontes en 24 horas.

La traccion de trenes de obreros, de materiales i de desmontes al interior del subterráneo se ha efectuado por medio del aire comprimido; se dispuso de 7 locomotoras Borsig: 5 unidades de 10 toneladas de tres ejes, con depósito de 2,5 metros cúbicos i de 50 caballos de potencia, i 2 unidades de 30 toneladas de cuatro ejes, con depósito de 9,5 metros cúbicos i 150 caballos de potencia. El aire era cargado en los depósitos a una presion de 135 kilogramos i soltado a 12 kilogramos antes de la admision en los cilindros.

Entraban al túnel 30 trenes, término medio en 24 horas: al exterior, la traccion se hacia por locomotoras a vapor.

## INSTALACIONES DEL LADO DE FRANCIA

La energía necesaria para las faenas del lado de Francia provenia también de la usina de «Fuerzas del lago de Joux» era transmitida por una línea de 7 kilómetros a 13 500 volts, salvando el Mont d'or. La instalación de este lado, mucho más simple, comprende: un transformador de 200 kilo-watts, un motor eléctrico de 210 caballos i una compresora Ingersolt Rand de 200 caballos; por otra parte, una máquina a vapor semi-fija de 120 caballos i un alternador de 70 kilo-watts, que permitian asegurar el funcionamiento de las bombas i ventiladores en caso de avería de la línea eléctrica.

La perforación se hacia con martillos de aire comprimido Ingersolt Rand.

Un ventilador Farcot de 42 caballos bastaba para la ventilación.

La vía de servicio era aquí de 0,60 metro.

El agotamiento del agua, que aquí se hacia necesario por la contra pendiente, fué asegurado por cuatro moto-bombas eléctricas Dumont, de 25 litros por segundo cada una, agrupados de a dos i funcionando por intermitencias, pues, el volumen de agua por evacuar en este lado, rara vez alcanzaba a 40 litros por segundo.

---

La perforación ha durado del 14 de Noviembre de 1910 al 2 de Octubre de 1913, sea 1 054 días, sin deducir los festivos. El avance medio diario, ha sido, pues, de 5,79 metros; no puede ser comparado con el de los grandes túneles de doble pendiente, que podían ser atacados con igual actividad por los dos lados. En Loetschberg el avance medio fué de 9 metros por día.

El túnel de Mont d'or será revestido en toda su longitud i llevará además radier. En la marga oxfordiana el revestimiento ha necesitado 0,80 metro de espesor. En ciertas zonas ha sido necesario hacer inyecciones de cemento, detrás de las alfilerías.

El túnel quedará completamente terminado a principios de 1914.

---