

EL TUNEL DE SAN GOTARDO.

Historia.—Desde el año 1846, el gobierno del Piamonte, no obstante hallarse preocupado con la idea de atravesar los Alpes por el Mont-Cenis, parecía dispuesto á facilitar otro paso por aquella cordillera en la frontera suiza.

Después de la unificación de Italia, las provincias del Centro y del Norte del nuevo reino reclamaron enérgicamente la ejecución de este último proyecto, ya indispensable para su prosperidad-comercial é industrial. Se abrieron para el efecto negociaciones con el Consejo federal Helvético, y se propusieron diferentes trazados concurrentes por los cantones directamente interesados.

Los cantones del Este patrocinaban el paso por el Splügen ó por el Lukmanier, que unían el lago Constanza y el Rhin superior al valle del Tesino y á las llanuras lombardas; los cantones del Centro pedían la línea de San Gotardo por la orilla del lago Lucerna, el valle del Reuss y el del Tesino, y los cantones del Oeste querían á su vez se abrieran los Alpes al través del Simplon, siguiendo el valle del Ródano y el del Tosse, que dicho sea de paso, permitiría abrir un túnel á un nivel inferior al del Mont-Cenis y San Gotardo.

Estos tres proyectos concurrían en el lago Mayor, cuya extremidad Sud se halla á 50 kilómetros de Milan.

Se procedió á verificar los estudios por los tres puntos indicados, pero en Marzo de 1869 el gobierno italiano comunicó al Consejo federal suizo que prefería la línea central, y que le sería imposible asegurar á las otras soluciones la fuerte subvención que se comprometía á pagar por la ejecución del túnel del monte San Gotardo.

En su consecuencia se estipuló un convenio entre la Suiza é Italia, en 15 de Octubre de 1869, con las siguientes condiciones:

1.^a El camino de hierro del San Gotardo partirá simultáneamente de Lucerna y de Zug, para llegar á la frontera italiana en Luino (en las orillas del lago Mayor) y en Chiasso, cerca de Como, teniendo la red una longitud total de 265 kilómetros.

2.^a Desde el lago de Lucerna hasta Biasca (cerca del lago Mayor), el camino será de doble vía.

3.^a La pendiente máxima será de 0,025 y el radio mínimo de las curvas de 500 metros.

4.^a El túnel que ha de atravesar la cordillera se

hará en línea recta, y su máxima elevación no pasará de 1.162 metros sobre el nivel del mar.

5.^a La subvención necesaria para que la ejecución de esta línea sea posible, se fija en 85 millones de francos, de los cuales corresponden pagar 20 millones á Suiza y 45 millones á Italia.

6.^a La Confederación Helvética hará ejecutar las prescripciones para la ejecución de la línea, y el Consejo Federal resolverá todas las cuestiones relativas á la construcción del gran túnel.

7.^a El Gobierno de Suiza se reserva tomar todas las medidas necesarias para garantizar su neutralidad y defensa.

Las cláusulas de este convenio quedaron sin efecto durante dos años, porque la Confederación de la Alemania del Norte no quería contribuir más que con 10 millones de francos, en lugar de los 20 que se le pidieron para completar los 85 antes indicados; pero en Octubre de 1871, constituido ya el Imperio germánico, consintió éste en elevar á 20 millones su subvención.

Dimensiones y trazado del túnel.—En los 265 kilómetros que tiene esta red, una mitad próximamente necesitará grandes trabajos de arte, principalmente en el valle de Reuss y parte superior del valle del Tesino; pero la obra capital es el túnel del monte San Gotardo, de doble vía y de igual sección que el del Mont-Cenis, al cual excederá en 2.700 metros de longitud, y que ha de atravesar rocas más duras y sujetas á mayores filtraciones. Es, por tanto, el mayor túnel de doble vía que se ha ejecutado hasta el día, con la circunstancia de tenerlo que abrir sin pozos auxiliares, atacándolo sólo por sus extremos á causa de las elevadas costas de la montaña.

El tiempo concedido al contratista para la ejecución de la obra es sólo los dos tercios próximamente del que ha sido necesario para perforar el Mont-Cenis, presentando por lo tanto gran interés por la prontitud con que ha de ser ejecutada obra tan colosal.

Este túnel unirá los valles de los ríos Reuss y Tesino, formando su dirección un ángulo de 5 grados próximamente con el meridiano. Su entrada Norte, colocada muy cerca de la aldea de Göschenen, tiene su solera á 1.109 metros encima del nivel del mar, y á 672 metros sobre las aguas del lago de Lucerna. La del Sud se halla próxima á la aldea de Airolo, teniendo su solera á 1.145 metros encima de la mar, y 948 sobre el lago Mayor que atraviesa el río Tesino. Su perfil es de

doble pendiente, como el del Mont-Cenis, es decir, se eleva á partir de su boca Norte con una pendiente algo menor de 6 por 1.000, para descender luego hacia la Sud con otra de 1 á 2 por 1.000, teniendo intermedia en el centro del túnel una rasante horizontal á la altura de 1.152 metros sobre el mar.

Las dimensiones de su seccion transversal son las mismas que en el túnel de Mont-Cenis, á saber: 6 metros de altura bajo la clave, 7^m,60 de anchura al nivel de las traviesas, y 8 metros de anchura á 2 metros de altura sobre las traviesas.

En su extremo Sud, ó sea del lado de Airolo, termina el túnel por una curva de 300 metros de radio, pero debe prolongarse no obstante en línea recta en 163 metros de longitud, á fin de facilitar las comprobaciones respecto á su direccion al tiempo de construirlo. Teniendo en cuenta dicha prolongacion, la longitud total del túnel en línea recta será de 14.920 metros.

Del lado de Göschenen, ó sea en su parte Norte, atravesará un macizo de cerca de 2.500 metros de rocas graníticas; luego sigue una masa de calcáreas silíceas correspondientes al valle del Urseren, y el resto del macizo hasta un kilómetro de Airolo se compone principalmente de gneis micáceo ó anfíbólico, volviendo á encontrarse cerca de Airolo algunos bancos calcáreos, muchas fallas y una abundancia de agua extraordinaria.

La posicion geográfica de los dos extremos del túnel fué determinada por una doble operacion: la primera fué ejecutada por M. O. Gelpke, y la segunda por los Sres. Plantamour y Hirsch, directores de los observatorios de Ginebra y Neuchatel. Estos hábiles observadores, con personal é instrumentos diferentes, llegaron á resultados casi idénticos, lo que prueba la notable exactitud de las operaciones.

Midieron al efecto una base en la llanura de Andermatt de 1.450^m,44 de longitud, de la cual partieron ambas operaciones para determinar la longitud y pendiente del túnel; obteniéndose la longitud con sólo la diferencia de 0^m,053 en las dos mediciones, y 0^m,098 de diferencia en las alturas.

Condiciones impuestas al contratista.—El 5 de Abril de 1872 la Compañía del San Gotardo abrió un concurso general para la ejecucion del túnel. Se presentaron siete proposiciones, de las cuales sólo tres parecían aceptables, obteniendo entre éstas la preferencia la presentada por la empresa de L. Favre y compañía, de Ginebra, cuya oferta

era 15 millones de francos más baja que la de sus concurrentes, y se comprometía á ejecutar la obra en un plazo un año más corto. El Sr. Favre era muy conocido por los importantes trabajos de ferrocarriles con grandes túneles que habia llevado á cabo en Francia y Suiza. Además contaba con la cooperacion del célebre profesor Colladon, de Ginebra, como Ingeniero consultor de la empresa.

Las condiciones suscritas por M. Favre son las siguientes:

1.^a El Sr. Favre depositará en las arcas de la Compañía de San Gotardo una fianza de 8 millones de francos.

2.^a Se compromete á la ejecucion completa del túnel con todos los riesgos de la obra, así como á todas las instalaciones que juzgue necesarias para su terminacion, comprendiendo la fuerza mótriz, los compresores, los perforadores y demas máquinas, las cimbras y andamiajes, las vías auxiliares de servicio, el material de transporte, los talleres, almacenes, habitaciones para obreros y hospitales, por el precio de 2.800 francos el metro lineal de túnel, no comprendiendo las mamposterías y la vía definitiva.

3.^a En dicho precio van incluidos los accidentes á los que está expuesto el contratista por consecuencia de las dificultades imprevistas que puedan presentarse en el curso de los trabajos.

4.^a El Sr. Favre se compromete á terminar completamente el túnel en el espacio de ocho años, y á lo sumo en nueve años. Si no le concluye en ocho años, se le retendrá de su fianza en el primer semestre del noveno 5.000 francos por día en concepto de multa, y en el segundo semestre 10.000 francos hasta el día de la terminacion.

Si no hubiera terminado la obra al cabo del noveno año, perderá la fianza.

Estos plazos se cuentan á partir del 1.^o de Octubre de 1872.

Si comparamos las condiciones impuestas para la construcción del túnel de San Gotardo con las relativas al del Mont-Cenis, que tiene 12.233 metros de longitud, ó con las del monte Hoosac, el túnel mayor de los Estados-Unidos, cuya longitud es de 7.654 metros, se ve que los trabajos de San Gotardo tienen que avanzar con doble velocidad que los del Mont-Cenis, y que el precio por metro lineal es en aquél los dos tercios del correspondiente á éste y ménos de la mitad de lo que ha costado por metro lineal el túnel de Hoosac, que ha sido más de 6.100 francos,

En 1872 la mayor parte de los Ingenieros consideraban imposible la ejecucion de la obra en el tiempo á que se comprometió Favre, pero luego se ha modificado aquella opinion. La enérgica actividad con la cual se han hecho los trabajos preliminares, tales como los canales de derivacion para la fuerza motriz, el establecimiento de los compresores y medios de perforacion, los talleres y otros edificios, y los rápidos progresos obtenidos despues en la perforacion del túnel, hacen muy probable que la obra se termine por completo en ocho años, y en todo caso ántes de los nueve años.

Sistema de perforacion.—La rapidez de ejecucion de un gran túnel depende naturalmente del sistema que se adopte y de algunas reglas técnicas, sobre las cuales difieren de opinion los Ingenieros.

Un túnel de doble vía, como los del Mont-Cenis y San Gotardo, con las dimensiones transversales ya indicadas, lleva consigo la perforacion de una seccion de unos 50 metros cuadrados, teniendo en cuenta el espacio que ha de ocupar la fábrica de revestimiento. No se abre desde luego con tan gran seccion, sino que se empieza por perforar una pequeña galería llamada de *direccion*, que tiene próximamente 2^m,50 de anchura y altura, la cual se agranda despues, marchando siempre la galería de *direccion* de 200 á 300 metros delante de los trabajos de ensanche.

La cuestión capital del progreso del túnel es el avance de la citada galería, lo cual se efectúa trabajando con perforadores mecánicos movidos por aire comprimido, que á la vez que sirve de motor efectúa la ventilacion del túnel. Este procedimiento fué propuesto en 1852 por el profesor Colladon, de Ginebra, para la perforacion del Mont-Cenis, en una Memoria entregada al Gobierno sardo, que recibió la aprobacion de la Academia de Turin.

Ha ocupado mucho á los Ingenieros la cuestion de si la galería de *direccion* ha de abrirse en la parte inferior ó superior de la seccion del túnel.

En el Mont-Cenis empezó abajo, en el Hoosac se emplearon los dos sistemas, y el contratista del túnel de San Gotardo prefirió abrirla en la parte superior, habiendo justificado esta adopcion los rápidos progresos obtenidos en la obra.

Del lado de Airolo, á pesar de las enormes filtraciones que en 1874 eran de 252 litros por segundo, y que trasformaron la galería en un verdadero canal, su avance no difiere notablemente del obtenido en el lado Norte del túnel, donde

las filtraciones eran mucho menores. Además el sistema seguido facilita mucho el establecimiento de la bóveda del revestimiento.

La galería de *direccion* en el túnel de San Gotardo tiene próximamente 2^m,60 de anchura y 2^m,40 de altura, y como en general debe revestirse el túnel, el techo de la galería de *direccion* se encuentra encima del intrados de la bóveda, en una altura correspondiente al espesor de ésta.

A 200 ó 300 metros detras de los trabajos de la galería, se desmontan, ya con máquinas, ya á mano, los segmentos comprendidos entre las paredes de aquélla y las líneas de la seccion del túnel situadas al nivel de la galería. A otros 200 ó 300 metros de estos trabajos se abre un foso de 3 metros de anchura que desciende hasta el nivel que ha de ocupar el suelo del túnel, y á medida que avance este foso se atacan por derecha é izquierda las paredes del mismo, hasta llegar á la anchura total del túnel.

Para facilitar la extraccion de los desmontes, así como el transporte de las máquinas de perforacion, útiles y herramientas, se han establecido dos caminos de hierro, cuya vía es de un metro de ancho; uno de ellos reina en toda la longitud de la galería de *direccion*, y el segundo en la solera del foso, estando enlazados por dos elevadores. Estos aparatos, inventados en 1843, están compuestos principalmente de unas prensas hidráulicas, destinadas á elevar un tablero, sobre el cual se colocan los wagones ó materiales que se quieran elevar ó bajar desde una vía á la otra.

El mecanismo que levanta el tablero con su carga se compone de una bomba aspirante é impelente puesta en movimiento por el aire comprimido, la cual inyecta el agua que obra en los émbolos de la prensa hidráulica que pone en movimiento al tablero.

Como esta operacion exigiria muchos minutos, á fin de hacerla más rápida se ha ideado el aparato llamado *acumulador*, cuya invencion se debe á Mr. Armstrong, que tuvo la ingeniosa idea de establecer entre la bomba impelente y el tablero un poderoso émbolo intermedio cargado de un contrapeso permanente de muchos millares de kilogramos. El trabajo de la bomba se emplea en levantar el émbolo del acumulador con su contrapeso permanente, y cuando se quiera levantar rápidamente el tablero con el wagon encima, se abre un grifo de comunicacion entre el cilindro del émbolo acumulador y los destinados á levantar

el tablero, resultando que en ménos de un minuto el émbolo acumulador baja, haciendo elevar el tablero con su carga hasta el nivel de la vía superior, en la cual entra por medio de un puente volante.

Todos los Ingenieros convienen en que el avance de los trabajos de un túnel depende esencialmente de los progresos más ó ménos rápidos de la galería de direccion. En la pequeña seccion que presenta el frente de ésta, no pueden trabajar más que un pequeño número de hombres y máquinas perforadoras, mientras que para ensancharla se pueden colocar mayor número de máquinas y un número considerable de obreros.

Los progresos que ha realizado M. Favre en la galería de direccion en los dos lados del túnel exceden con mucho á los obtenidos, ya en el Mont-Cenis, ya en los trabajos de otros túncies abiertos en rocas silíceas.

En el Mont-Cenis el avance más rápido se obtuvo en los dos últimos años de 1869 y 1870, que fué de 1.451 y 1.653 metros por año, ó sea 440 metros como máximo en un trimestre. En el monte Hoosac este avance trimestral máximo sólo fué de 257 metros.

En San Gotardo, los cinco trimestres anteriores á Octubre de 1875, han dado por los dos frentes reunidos el siguiente avance:

AVANCES TRIMESTRALES.	GÖS-CHENEN.	AIROLO.	Total.
	Metros.	Metros.	Metros.
Desde 1.º de Julio á 1.º de Octubre de 1874	521.60	174.10	405.70
Desde 1.º de Octubre de 1874 á 1.º de Enero de 1875	285.60	215.50	526.90
Desde 1.º de Enero á 1.º de Abril de 1875	267.90	289.10	557.00
Desde 1.º de Abril á 1.º de Julio de 1875	512.10	541.20	656.50
Desde 1.º de Julio á 1.º de Octubre de 1875	560.96	526.20	687.10

La marcha progresiva en estos trimestres hace comprender que en el trimestre último del pasado año excedería el avance de los 687 metros que como máximo figuran en el cuadro anterior.

Esta maravillosa rapidez en la ejecucion es debida en gran parte á la potencia de los motores, al hábil empleo de máquinas poderosas y nuevas para la compresion del aire, y á los numerosos perfeccionamientos introducidos en la construccion y modo de obrar de las máquinas perforadoras.

Derivaciones, motores y compresores.—El elemento principal de progreso en la perforacion de

largos túneles es el empleo inteligente de máquinas perforadoras y la posibilidad de disponer de una fuerza motriz considerable. Esta fuerza se transmite á las máquinas perforadoras por medio del aire comprimido por ella, que sirve á la vez para ventilar el túnel.

La potencia necesaria se obtiene en el túnel de San Gotardo aprovechando las caidas de aguas que por allí se encuentran, por medio de turbinas que se emplean para poner en movimiento las máquinas para comprimir aire.

Del lado de Airolo se han utilizado dos rios torrenciales; uno, llamado Tremola, nace á pocos kilómetros del hospicio del monte San Gotardo; su pendiente media es de 20 por 100, y como el volumen de agua que conduce no es grande, ha sido preciso compensarlo, estableciendo una caída de 180 metros, ó sean 18 atmósferas. El lecho de este torrente está encajonado en una garganta, á la que caen enormes aludes, obstruyendo su cauce casi todos los años, por lo cual ha sido preciso establecer la presa de toma, el canal de conduccion y el depósito en parajes accesibles en invierno. De este depósito, colocado á 180 metros de altura sobre las turbinas y dispuesto con varios compartimientos para separar los cuerpos flotantes, arenas y gravas, descende el agua, ya libre de aquellos cuerpos extraños, por medio de un tubo metálico de 0^m.62 de diámetro y 840 metros de longitud al edificio donde se hallan situadas las turbinas y compresores. Dicho edificio contiene cuatro turbinas construidas por la casa Escher Wyss y compañía, de Zurich, las cuales tienen 1^m.20 de diámetro y 100 alaves, ejecutando 550 revoluciones por minuto. Son de bronce, fundidas en una pieza con sus alaves, habiéndose elegido este metal porque de haber elegido el hierro la fundicion ó el acero, se hubieran gastado rápidamente por el choque del agua. El movimiento de las turbinas se transmite por engranajes á las máquinas para comprimir aire.

Como el caudal del Trémola se reduce á unos 100 litros por segundo en los dias muy frios, á fin de que no faltara fuerza motriz, se creó en 1874 otra canalizacion derivada del Tesino, que allí es un torrente con una pendiente de 5 por 100. Dicho canal tiene 5 kilómetros de longitud, con una pendiente media de 1 á 2 por 100; marcha por unas laderas casi verticales, donde ha habido que ejecutar trabajos muy difíciles, y entre ellos dos puentes acueductos de 15 á 50 metros de lon-

gitud, encima de profundos barrancos, concluyendo en un depósito que se halla á 90 metros encima de las turbinas, pues de haberse querido aprovechar el depósito donde termina la derivación del Trémola, hubiera sido preciso construir un canal de 7 kilómetros de longitud.

Resulta, pues, que en Airoio hay dos caídas diferentes, una doble que la otra, lo que hacia indispensable, para el buen empleo de la fuerza motriz, el establecimiento de dos clases de turbinas. Esto se ha realizado de una manera sencilla y poco costosa, colocando las segundas turbinas en los mismos árboles verticales que las primeras, á un metro encima de éstas, llevando á aquéllas el agua del Tesino por medio de un tubo de palastro de 0^m,75 de diámetro.

En la boca Norte del túnel, el valle de Reuss se halla también expuesto á la caída de aludes y peñascos. Aquellos tienen el inconveniente de transformar momentáneamente el agua del torrente en un líquido de fango y nieve que obstruye las cañerías, ocasionando interrupciones en el trabajo de las turbinas.

El volumen de agua que lleva el Reuss es muy superior al del torrente de Trémola, bajando rara vez de un metro cúbico por segundo, y su pendiente, que es de 10 por 100 próximamente, ha permitido obtener una caída útil de 85 metros, mediante una presa establecida á 926 metros agua arriba de la extremidad del túnel. El agua se conduce desde la presa á un depósito que contiene 100 metros cúbicos, desde el cual, por una cañería de palastro de 2^m,85 de diámetro, se conduce al edificio de las máquinas.

(Se concluirá.)

(L'Année scientifique.)

PARTE OFICIAL.

Febrero 24 (Gaceta de 31 de Marzo).— Se amplía la habilitación de la aduana del puerto de la Selva para importar materiales para la construcción del ferro-carril de Girona á Francia.

Idem 26 (Gaceta de 28 de Marzo).— Se revoca la orden de 27 de Marzo de 1873 en la parte que desestima las reclamaciones del contratista de la carretera de Palma á Andraix, en la isla de Mallorca, en cuanto al movimiento de tierras, y se declara que para la liquidación y abono de los trasportes de tierra debe aplicarse el presupuesto que sirvió de base para la subasta, tomando el tipo por el mismo señalado para el transporte de un metro cúbico de

pedra caliza á un kilómetro de distancia, y añadiendo siempre, cualquiera que ésta sea, lo señalado para la carga y descarga, debiendo rectificarse respecto á esta parte la liquidación, y se absuelve á la Administración de la demanda respecto á los demas extremos que contiene.

Marzo 28 (Gaceta de 1.º de Abril).— Se autoriza á D. Santos García para construir un puente provisional de madera sobre la ría de Malabon en las islas Filipinas.

Abril 3 (Gaceta del 7).— Se declara caducada la concesión de las marismas de Colombres, provincia de Oviedo, que fué otorgada á D. Federico García del Real.

Idem 5 (Gaceta del 10).— Se autoriza á D. Gaspar Leguina y compañía para construir una dársena y cargaderos en el río Galindo, provincia de Vizcaya.

SUBASTAS.

27 Abril.— Provincia de Zaragoza. Trozo de carretera de Calatayud al paso á nivel del ferro-carril de Madrid á Zaragoza en la de Calatayud á Daroca. Presupuesto, 38.645,03 pesetas.

Trozos 1.º y 2.º de la carretera de tercer orden de Caspe á Selgua, por Candanos. Presupuesto, 314.297,55 pesetas.

1.º de Mayo.— Provincia de Badajoz. Sección de carretera de Alconchel á Villanueva del Fresno, en la de tercer orden de Badajoz á dicho Villanueva, por Olivenza y Alconchel. Presupuesto, 264.675,96 pesetas.

Provincia de Oviedo. Trozos 2.º y 3.º de la Sección de carretera de Pola de Laviana á Oviñana en la de tercer orden de Oviedo á Oviñana. Presupuesto, 448.423,49 pesetas.

Provincia de Segovia. Sección 1.ª del trozo 4.º de la carretera provincial de Segovia á Villacastín, por Piedad, cuya Sección parte de Fuentemilanos. Presupuesto, 69.107,18 pesetas.

Provincia de Barcelona. Las obras de reparación de los kilómetros 626 y 627 de la carretera de primer orden de Madrid á la Junquera, 2.ª Sección, trozo de Barcelona á San Martín de Provensals. Presupuesto, 22.640, 43 pesetas.

12 de Mayo.— Provincia de Huelva. Una barca para el paso del río de las Piedras con sus accesorios de rampa y caseta, en la carretera de Gibralfuente á Ayamonte. Presupuesto, 15.454,11 pesetas.

Provincia de Cáceres. Terminación del trozo 3.º de la carretera de tercer orden de Membrio á San Vicente. Presupuesto, 195.960,08 pesetas.

14 de Mayo.— Provincia de Huelva. Carretera provincial de Valverde á la Palma, que comprende desde la salida de Valverde hasta el límite Este de la dehesa del Garduño. Presupuesto, 84.575,39 pesetas.