

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

TÚNEL DE TOSAS ⁽¹⁾

A las dificultades técnicas enumeradas en los artículos anteriores y que por fortuna iban resolviéndose, se agregó inesperadamente otra de carácter administrativo que vino á complicar el problema. La contrata del túnel, integrada por tres socios comanditarios, había delegado la dirección en uno de ellos, el señor Retuerta, quien se instaló en Tosas desde un principio: desgraciadamente por un descuido inexplicable, y al acercarse á un

aparecería el sujeto de derecho, y que, por lo tanto, en el caso de que á la Administración conviniese, podían continuar la obra los liquidadores de la Sociedad, siempre ateniéndose á las condiciones del contrato. Por su parte los dos socios que sobrevivían ofrecieron aceptar la responsabilidad, mas de nuevo surgió otro tropiezo porque estaba pendiente de aprobación un proyecto reformado, cuyo presupuesto adicional excedía del 20 por 100 del primitivo y por ello no existía acción obligatoria. Todos estos incidentes motivaron repetidos informes hasta que, sometido el expediente á dictamen del Consejo de Estado, se acordó por Real orden de 15 de Julio último la rescisión. Con ello quedaba resuel-

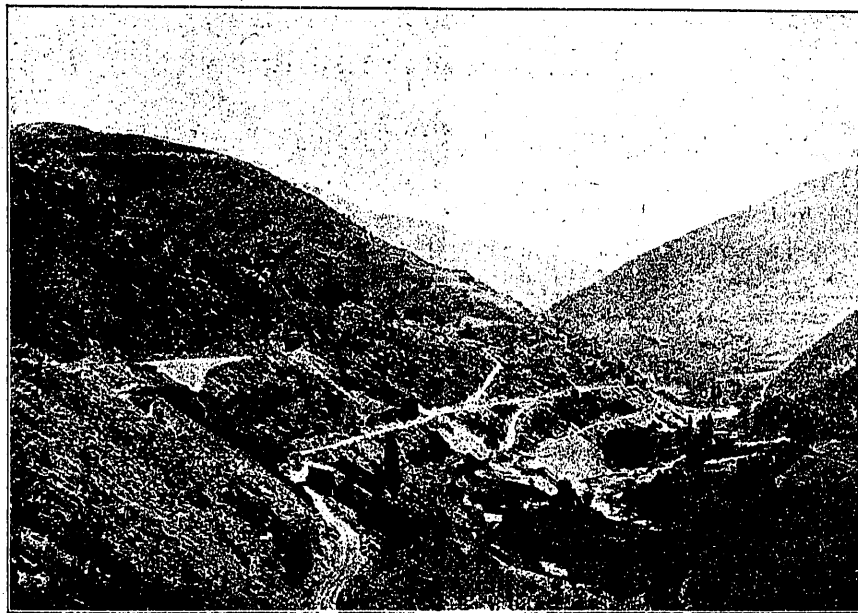


Fig. 1.^a—Boca Sur del túnel helicoidal.

transformador, murió electrocutado juntamente con el pobre médico que acudió á socorrerle. Con ello quedó la Sociedad en situación dificultosa, pues la viuda no pudo continuar en la representación de su esposo por auto del Juzgado, disolviéndose la razón social á principios de Septiembre de 1917. Presentóse, pues, un caso no previsto en nuestra legislación, porque si bien el pliego de condiciones generales hace referencia al supuesto de que fallezca el contratista ó se declare la quiebra del mismo, no ocurría aquí lo mismo. Pareció desde un principio que la disolución de una Sociedad era en cierto modo una muerte civil, ya que des-

to administrativamente el asunto, pero la obra ¿cómo se continuaba? Esperar el resultado de una nueva contrata era peligroso, pues entre la aprobación del proyecto reformado, celebración de la subasta, adjudicación y comienzo de las obras, transcurriría forzosamente un largo plazo, que no podía esperarse dada la índole de los trabajos, los cuales era fácil se arruinaran si no se proseguían sin demora entibando y revistiendo los tramos anteriores. Y dado que se consiguiera pronto un postor en la nueva subasta ¿cómo podría trabajar éste sin medios auxiliares, ya que hasta el camino de 9 kilómetros de Planés á Tosas era propiedad de la contrata rescindida?

Por ello resolvió la Superioridad que se siguieran los trabajos

(1) Véase el núm. 2277.

por administración sin pérdida de tiempo; por suerte la contrata cedió en usufructo todos sus elementos auxiliares de construcción, y con ello hubo tiempo para redactar rapidísimamente el proyecto reformado en forma tal que pudieran realizarse las obras y adquirirse aquellos elementos auxiliares por administración. Al mismo tiempo, y en el inconcebible plazo de un mes, terminó el Sr. Velasco la liquidación general de la contrata. No he visto en mi vida actividad ni acierto mayores que los de este Ingeniero, como lo demostró la favorable acogida del Consejo, que informó muy satisfactoriamente el proyecto y todo fué aprobado sin pérdida de tiempo por la Superioridad. De esta suerte *sin un día* de suspensión, se han continuado las obras que, cesando por la con-

esto es, con una velocidad de 1,66 metros diarios, no disponían de espacio para evitar tropiezos con las brigadas de avance.

Claro es que mientras fué una contrata la entidad que realizaba los trabajos, no había más remedio en la Comisión que guardar cierta benevolencia, porque no resultaba fácil obligar se variase el sistema de trabajo, ya que costando la perforación, en aquel detestable terreno, por lo menos, cuatro veces más que el promedio de la excavación, el prescribir un avance desproporcionado equivalía á forzar anticipos considerables de fondos, que una contrata como la del túnel de Tosas, ya castigada por quebrantos y catástrofes anteriores, no hubiera podido resistir. Con ello la fecha de la terminación del túnel se iba desvaneciendo en lo por-



FIG. 2.^a—Trazado del trozo 9.^o

trata en 31 de Julio, fueron seguidas por la Comisión en 1.^o de Agosto.

El estado de las obras en 31 de Julio de 1918 era el siguiente: contando las progresivas desde la correspondiente boquilla.

	BOCA SUR Metros.	BOCA NORTE Metros.
Avance.....	2.208	956
Bóveda.....	2.132	0 á 868 = 891 á 902
«Stross».....	2.027	238
Estribos.....	2.000	0 á 139 = 168 á 176 = 196 á 223
Contrabóveda.	1.960	0 á 18 = 97 á 127 = 168 á 176 = 196 á 214

Al hacerse cargo el Estado de la obra, se ve que estaban en plena marcha todos los tajos ó partes del túnel, á saber: avance, ensanches, bóveda, *stross*, bataches, estribos y contrabóveda. Pero todo había seguido una marcha en extremo lánguida, ya que siendo de pésima calidad el terreno perforado, se invertían dos semanas en construir un anillo de 5 metros de longitud, y fatalmente á ésta misma velocidad era á la que tenían que ajustarse los demás trabajos, aunque el avance y el *stross*, por ser en aquel momento fáciles de excavar ó no requerir entibación, pudieran haberse efectuado con mayor rapidez. Por el contrario, si el avance se verificaba en terreno deleznable y por ello sólo se podía conseguir una velocidad de 0,80 metros diarios, los anillos, aunque pudieran haberse construido á razón de uno cada tres días,

venir, y no se podían aventurar vaticinios con probabilidades de acierto.

Pero una vez la Administración quedó encargada de la ejecución de las obras, el problema económico se resolvió automáticamente, el Estado podía invertir todas las sumas necesarias para activar el avance, pues de dichas sumas se resarciría con creces en plazo brevísimo. En efecto, prescindiendo ó casi olvidando que la obra no era de avance solamente, sino que había de revestirse y estribar, se ordenó dedicar todas las actividades del personal á la primera operación. Con ello era forzoso gastar mucho dinero en los primeros meses, pero en cambio, una vez estuviera el túnel calado, resultaría factible disponer 10, 15 y hasta 20 brigadas, que revistieran la bóveda, excavarán el *stross* y los bataches y construirían los estribos; se suprimiría la ventilación y, en fin, se activaba la terminación del túnel. El Estado, por su parte, que ya en la construcción de lo restante de la obra se había resarcido como cualquier contratista del anticipo de fondos invertido en avanzar, tendría además la compensación principal explotando el ferrocarril, tres, seis ó diez meses antes de lo previsto, y obteniendo de esta suerte el interés del capital total gastado en la totalidad de la línea, capital que está improductivo á causa del *tapón* constituido por el túnel de Tosas.

Se decidió, pues, avanzar, avanzar siempre y a todo evento. Pero hubo que tener en cuenta dos circunstancias; en toda obra hay que disponer uno ó varios tajos de reserva, pues es claro que si, por ejemplo, se emplean 50 obreros en el avance, y éste, por avería en la electricidad, por rotura de tubos de ventilación ó por otra cualquiera de las mil causas que surgen en los túneles, hubiera que pararle, los cincuenta obreros tendrían que holgar.



Fig. 5.^a—Túnel de Tosas: avance progresiva 2.300.



Fig. 6.^a—Galería revestida para las últimas progresivas.



Fig. 3.^a—Trozo 7.^o: túnel núm. 4.



Fig. 4.^a—Túnel de Tosas: galería de avance revestida en la boca Norte.

Este inconveniente se resolvió en la boca Sur, con los ensanches, en los sitios en que se podía hacer sin entibar, con los relevos de entibación, ó con la construcción de bloques, todo ello sin tocar al *stross* ni á los estribos, cosa que no convenía para no variar la rampa que hay entre la rasante de explotación y la de arranques. En la boca Norte el tajo suplementario de trabajo ó válvula de seguridad, por decirlo así de la organización del trabajo, lo constituyen los estribos que aun no estaban empezados entre las progresivas 139 á 168, 176 á 196 y 223 á 238.

La segunda circunstancia apuntada es la siguiente: En el ataque Norte, la bóveda llegaba á la progresiva 902 y el avance á la 956; pues bien, esos 54 metros estaban excavados en el peor terreno posible sin exageración en el adjetivo; esquistos de marga muy arcillosa alternados con otros de arcilla pura, mucha humedad y bancos delgados de cuarzo pulverizado que se desprendía sólo con pasar un dedo. En semejantes condiciones esos 54 metros constituían un estorbo grandísimo para el avance; las entibaciones sólo podían considerarse eficaces durante los ocho primeros días; con ello los obreros tenían verdadero pavor, pues se hallaban en inminente peligro de su vida y para salvar este escollo se optó por revestir provisionalmente la galería con hormigón. Llegaba ya la bóveda á la progresiva 902; pues bien, en la 910 se comenzó á renovar las entibaciones colocando cuadros formados por pies derechos de 2,60 metros de longitud y sombreros de 1,20.

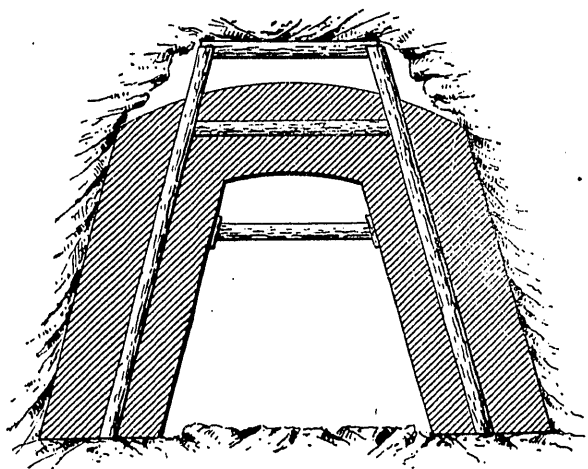


FIG.ª A.—Galería de avance revestida.
(Progresivas 902 á 956.)

A pesar de ser el diámetro de estos maderos de 0,35 á 0,40 metros se notaba que sufrían mucho antes de embutirlos en el macizo de hormigón de 0.80 metros de espesor constante en la bóveda y en los estribos. Después de colocado el transillón á 2 metros de altura á los quince días de hecho el revestimiento de hormigón y cuando comenzaba éste á agrietarse se colocaba el segundo transillón á 1,40 metros de altura. El hormigón y los maderos se han roto en muchos sitios á pesar de tener poco más de un metro la mayor longitud libre sometida á flexión; pero el revestimiento ha resistido y no ha habido necesidad de recurrir á la construcción de contrabóveda, á lo cual estaba dispuesto con tal de avanzar. Se extraían los productos en vagonetes especiales que sólo llevaban poco más de $\frac{1}{4}$ de metro cúbico, empujadas por hombres que no cabían derechos bajo los transillones. (Véanse las fotografías 4.ª, 5.ª y 6.ª).

Por medio de este procedimiento se avanzó ya con toda regularidad en la boca Sur, á partir del mes de Agosto. Al principio sólo se ganaron 30 metros, pero pronto se llegó á un esquisto duro que no requería entibación, por lo que en Septiembre pudieron perforarse 55 metros y en Octubre 42. A primeros de Noviembre

vino á tropezarse con las *grauwackas* ó conglomerados de grano fino y con algunos bancos de pudingas; éstos con sus cantos silíceos desviaban y desgastaban los pistoletes de tal modo que á pesar de realizar voladuras de 300 cartuchos de dinamita de primera sólo se consiguió avanzar 24 metros en Noviembre; finalmente aparecieron de nuevo los esquistos de buena calidad y se consiguieron en Diciembre y Enero avances de 36 y 44 metros. Concedióse á los obreros una prima diaria de 5 céntimos por centímetro de exceso de avance sobre el que cada día fijaba el personal facultativo, según la clase de terreno, y á primeros de Febrero se les prometió doble gratificación si calaban dentro del mes; con tal acicate activaron sus esfuerzos y llegaron á 69 metros por mes, logrando su objeto el 28 de Febrero á las cuatro de la mañana.

Por la boca Norte los avances eran más lentos, porque los barrenos eran hechos á mano ya que no existían otros medios, sólo se disponía de dos relevos de obreros en vez de los tres que había en la boca Sur, y el terreno era aún peor. Por dicha razón únicamente se perforaron 5 metros en Agosto, 18 en Septiembre, 23 en Octubre, 20 en Noviembre y 13 en Diciembre. Al llegar á la progresiva 1.035 pudo abandonarse el revestimiento de la galería y aguantar el terreno con la entibación, avanzándose 17 metros en Enero y 25 en Febrero.

La perforación del avance que faltaba en 1.º de Agosto tenía una longitud de $(1.077 - 956) + (2.528 - 2.208) = 441$ metros. Ésta se ha logrado en siete meses, con una velocidad media de 63 metros mensuales y con un adelanto de dos meses sobre el plazo que se había fijado como mínimo.

El túnel está dividido, según el proyecto primitivo, en cuatro trozos, que constituyen el 2.º, 3.º, 4.º y 5.º del proyecto; el 2.º y 3.º alcanzan una longitud de 1.000 metros cada uno, el 4.º de 635 hasta el comienzo de la horizontal-cumbre, y el 5.º formado por esta horizontal de 140 metros de longitud y por una contrapendiente de 0,006 en 840 metros en punto 980 metros. Por lo tanto, el ataque Norte á contar de la progresiva 980 hasta la de encuentro 1.077, esto es, en 97 metros de longitud hubo de hacerse en contrapendiente; había preparadas bombas eléctricas y de mano para agotar, pero no han sido necesarias, ya que, por fortuna, no han aparecido aquí manantiales, y los rezumamientos ó exudaciones de las paredes podían sacarse en las mismas vagonetes.

El éxito del calamiento se ha debido sin duda á la galería revestida de la boca Norte, que ya el Ingeniero encargado Sr. Velasco en 1917 proponía á la Superioridad, y por ello aprobóse el procedimiento, con su presupuesto de 55.000 pesetas, pero la orden llegó poco antes de la rescisión de la contrata y no se pudo por ello ensayar entonces el sistema. En 31 de Julio de 1918 los 54 metros entre las progresivas 902 y 956 á pesar de los continuos relevos de madera, estaban casi cerrados y era expuesto á un accidente el recorrer el túnel en esta parte entre los maderos retorcidos, arrodillados, abiertos en haces, etc. (fig. 7.ª).

El túnel de Tosas tiene su entrada en el valle de Rigart, cuya mayor anchura es de 40 metros entre montañas de 200 metros de altura sobre el río, y la boca Norte desemboca en el arroyo Pratagre, aún más cerrado que el Rigart; las señales para el replanteo del túnel debían estar, pues, á larguísima distancia unas de otras, y para la alineación del túnel, por lo tanto, eran de temer errores de puntería ó de refracción. La triangulación se temió fuera de imprecisos resultados, porque todos los triángulos eran obtusángulos, las bases difíciles de medir con exactitud y de una longitud muy pequeña respecto á la del túnel. Se prescindió por ello de este procedimiento, marcando con la posible exactitud las referencias de alineación; la longitud se midió taquimétricamente, reconociendo la escasa influencia de un posible error en



Fig. 9.ª—Trozo 7.º: paso del Palou y helicoidal.

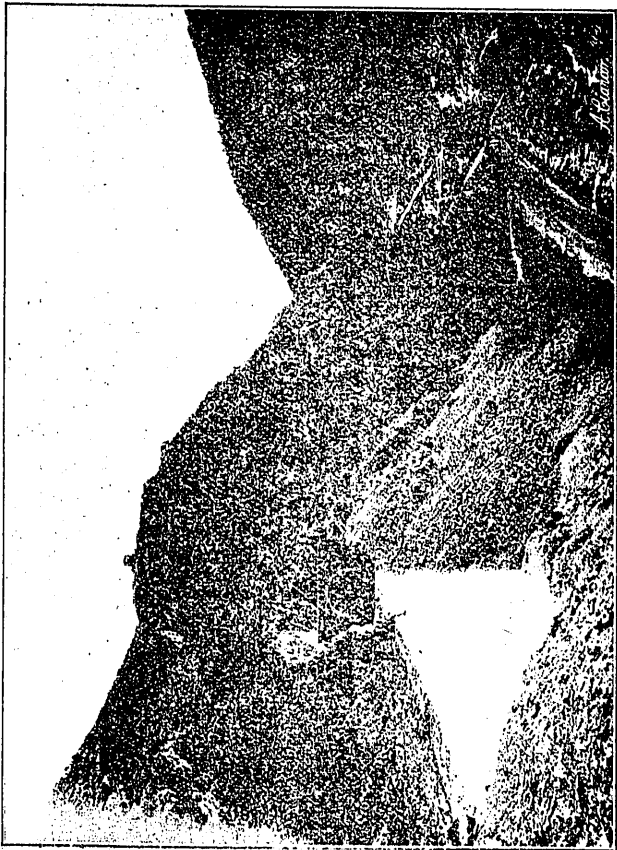


Fig. 10.—Trozo 9.º: muro y túnel núm. 4.

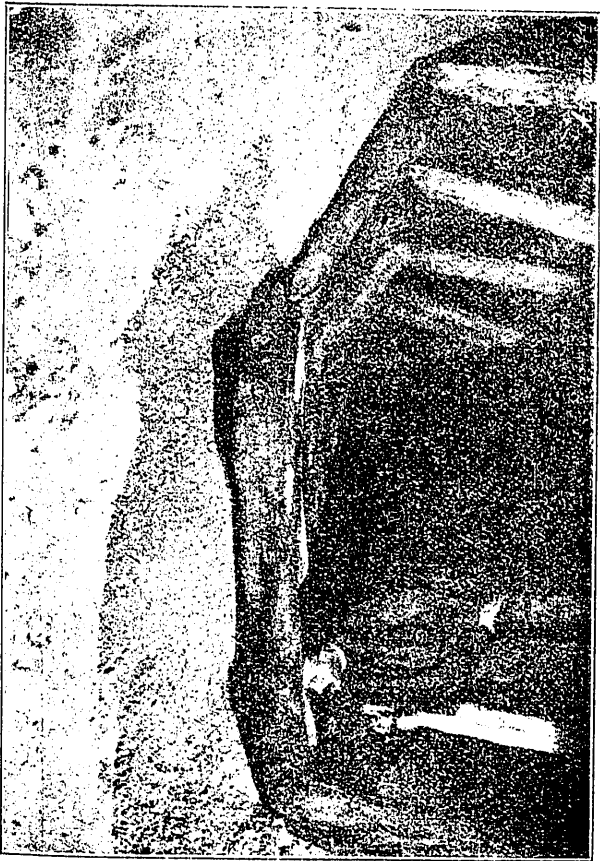


Fig. 7.ª—Túnel de Tosas: bóveda rota y entibada en la progresiva 1.300.



Fig. 8.ª—Trozo 5.º: túneles números 2 y 2 bis.

la exacta longitud del túnel, pues habiéndose de verificar el encuentro de las galerías en las proximidades de la horizontal cumbre, todo se reducía á acortar ó alargar ésta en la misma cifra que como error de longitud se alcanzara. Las previsiones se han confirmado: si se hubieran sumado todos los errores de puntería, refracción, etc., se hubiera obtenido un error de 0,30 metros en la alineación; pues bien, no ha llegado á seis centímetros, lo cual prueba evidentemente que ha habido compensación. En cuanto á la longitud, el error ha sido de 7 metros, y en lo relativo á la rasante, de 0,21 metros, que es lo que corresponde á los 7 metros al 3 por 100 de pendiente. El error de longitud ha sido favorable á la Administración, pues ha resultado el túnel 7 metros más corto de lo que se suponía y, por lo tanto, la galería Norte ha quedado 0,21 metros más alta que la Sur en el encuentro. Mas como la altura de esa galería es sólo de 2,60 metros, cifra que es justamente el radio del intradós del revestimiento y luego habrá de excavar el espesor de éste, resulta que tendrán que quitarse en la clave 21 centímetros menos del espesor á dar, espesor que variará de 1,25 á 1,50 metros. No se ha excavado, pues, inútilmente ni un solo metro cúbico, y el único error, ó sea el de longitud, ha sido una agradable sorpresa, pues representará una economía de 70.000 pesetas sobre el presupuesto de excavación y revestimiento; la horizontal-cumbre será de 133 metros en vez de 140, y aquella longitud es tres veces mayor que la tangente de la curva vertical de unión de la rampa de 0,03 con la horizontal.

En planta el error ha sido minúsculo y menor que en la generalidad de los túneles, incluso el de Canfranc: sólo de seis centímetros. Después de calado el túnel se ha unido por una recta el centro de la bóveda en la progresión Sur 2.132 con el centro de la misma en la progresión Norte 902 y el ángulo de esa alineación con las dos del revestimiento construido en los ataques Norte y Sur resulta de sólo cuatro minutos centesimales.

El personal que ha trabajado en la perforación del túnel desde Agosto hasta el día del calamiento ha sido de unos 250 obreros repartidos en la boca Sur en seis brigadas de avance y ensanches, una de bloques, dos de machacadora y hormigonera, una de vía y otra para servicios generales, como almacén, maquinaria, talleres, transportes, etc. En la boca Sur sólo había dos brigadas de avance y la de servicios generales.

El encuentro de los dos avances Norte y Sur se logró no por voladura sino por perforación; una pareja encargada de un martillo neumático colocó un pistolete de 3,90 metros de longitud que salió justo en el centro del frente del avance Norte; unos cigarrillos pasados con el aire comprimido á través de ese agujero de 3 metros fueron todo el bautizo del túnel en el que no se ha empleado ciertamente el *champagne* que se derrochó en los túneles del Simplón y de Jötberg. El Estado sólo ha abonado como premio á los obreros el jornal del día del calamiento y en vez de la acostumbrada comida extraordinaria de estos casos se han entregado 10 pesetas de gratificación á cada obrero, siendo de notar que existen muchos que llevaban seis y siete años en esta obra y que no ha habido huelgas ni algaradas. Las obras de Tosas no ofrecen el aspecto ordinario de esta clase de trabajos, que suelen ser realizados por obreros de carácter aventurero y díscolo propio de quien acude sólo con el cebo de grandes jornales. No: aquí la organización es más patriarcal y semeja en algo á la que anteriormente existía en las orillas del Ter y del Llobregat en las numerosas fábricas de hilados que hoy van desapareciendo.

En la actualidad se está construyendo con rapidez la bóveda que se calcula pueda quedar terminada en Septiembre próximo, y la totalidad del túnel en la primavera de 1921, es decir, dos años antes de lo que se había propuesto y seguramente con gran economía para el Estado.

Diffícilmente podrían presentarse en la carrera del Ingeniero obras más difíciles y comprometidas que las del túnel de Tosas. No sólo por la índole propia del trabajo, sino por la naturaleza del terreno y por la inclemencia del clima, que llega á temperaturas de -25° C., siempre ha constituido un problema de arriesgada solución. Cuando se entraba en el túnel con poquísima luz, moviéndose dos trenes en ambos sentidos funcionando los compresores y ventiladores en medio de un ruido atronador que apenas permitía se oyesen las conversaciones, tropezando casi continuamente con un dédalo de entibaciones que por sí mismo asustaba más aún que todo lo que se defendía y sufriendo las más veces las caricias de una lluvia glacial, el ánimo quedaba completamente aniquilado y la idea de salir de aquel infierno cuanto antes era la única que se presentaba á la imaginación.

Hoy todo ha cambiado; las obras adelantan con rapidez y la organización ha mejorado en términos tales que el obrero bien pagado, cuidado y atendido en sus necesidades, no sólo no piensa holgar en Tosas, sino que es el mejor amigo y compañero del Ingeniero. Por ello entiendo que esta enseñanza práctica es importantísima; los Ingenieros de Caminos deben construir los ferrocarriles directamente á las órdenes del Estado, pues cuando éste atiende á las necesidades de las obras satisfaciendo sus créditos éstas avanzan y se construyen más y mejor que cuando se entregan á un contratista ó concesionario.

Y como, para terminar, y torciendo el lema que pone Bour en el prólogo de su libro de *Mecánica racional*, yo puedo decir con relación á Tosas: *Nulla pars mei*, quedo con libertad para estimar como merece el éxito de esta labor que pertenece al Ingeniero don Ramón Martínez de Velasco. Acertadamente le han secundado los Ingenieros D. Fernando Moreno y D. Luis Caballero de Rodas, así como el malogrado Ayudante D. Alvaro Marco, recientemente fallecido, modelo de subalternos, honradísimo, activo é inteligente, y los Sres. D. César Colis y D. Miguel Lapuerta, Ayudante el primero y Sobrestante el segundo, que tuvieron la suerte de estar en el túnel cuando se consiguió romper la barrera que separaba la Cerdaña del valle de Ribas y que tanto tiempo había constituido un problema de difícil solución para estos ferrocarriles transpirenaicos ya hoy resuelto afortunadamente.

JOSÉ M. FUSTER.

Esta Revista felicita entusiastamente al Sr. Fuster y á todo el personal que cita en su interesante artículo, por el feliz éxito alcanzado y los trabajos desarrollados en tan importante obra.

NOTA

SOBRE LA CORROSIÓN DE LOS TUBOS DE LOS
CONDENSADORES DE SUPERFICIE ALIMENTADOS
POR AGUA DE MAR

POR

G. COSTESEQUE

Director de la fábrica del Cap Pinède de la Compañía de Electricidad de Marsella.

Todos los que explotan centrales eléctricas instaladas al borde del mar y que utilizan el agua de éste para circulación por los condensadores de superficie, han tropezado con graves inconvenientes causados por la corrosión de los tubos de los condensadores. El autor de la nota que damos á continuación, director de la fábrica del Cap Pinède de la Compañía de electricidad de Marsella, señala todos los accidentes que se han producido en esta lábrica por el hecho de la corrosión de los tubos bajo la acción del agua del mar y expone los medios que se emplearon para remediar el mal y los resultados obtenidos.

La presente nota no tiene por fin la discusión de las razones ni el mecanismo de la corrosión de los tubos de condensadores