

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

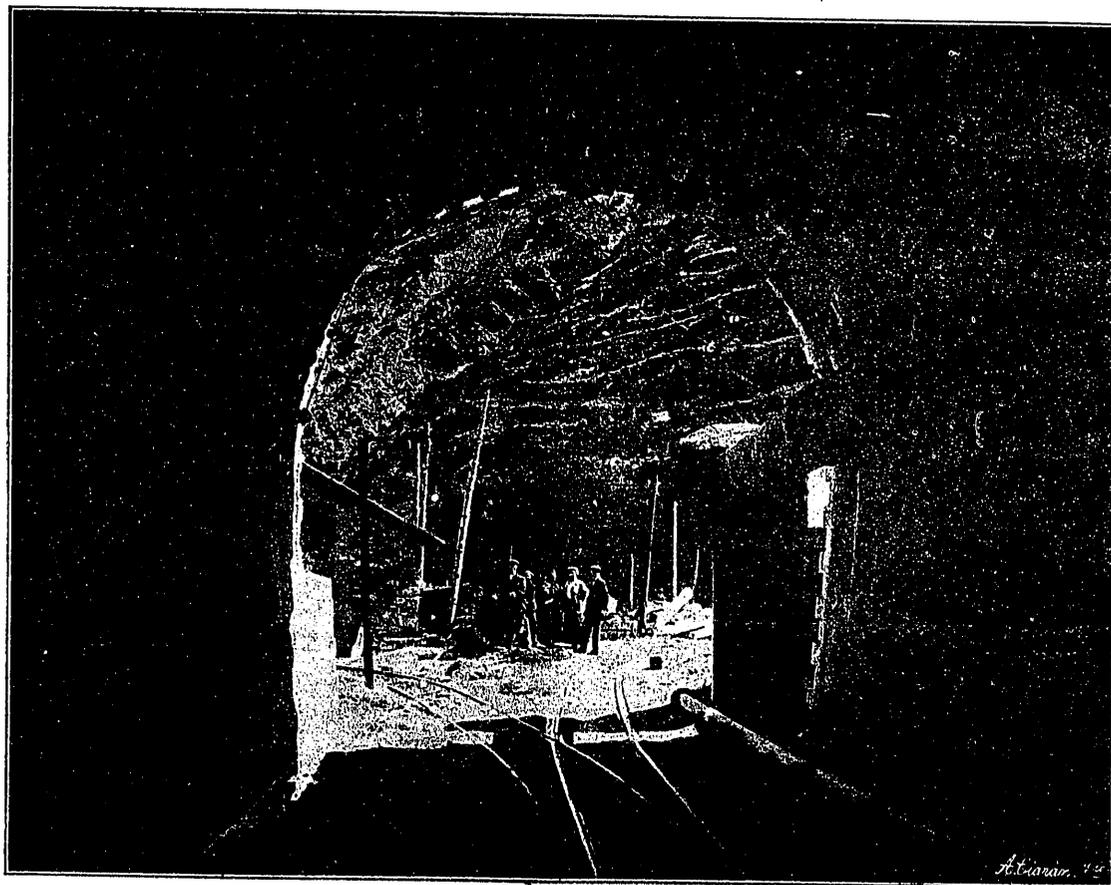
Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

TÚNEL DE TOSAS

El 28 de Febrero, á las cuatro de la mañana, fué calado el túnel de Tosas, encontrándose las dos galerías de avance con un error de *siete* centímetros. Este resultado, realmente extraordinario, ha venido á confirmar el acierto que desde un principio ha existido en el replanteo y desarrollo de esta obra tan importante

to fué referente al túnel de Tosas, pues á las complicaciones generales de esta clase de trabajos se unieron las circunstancias climatológicas, sumamente enojosas, lo inhospitalario del paraje y por aditamento la naturaleza del terreno.

Tiene el túnel de Tosas una longitud de 3.595 metros, y con la prolongación artificial de la boca Norte alcanza 3.840 metros, comprendiendo una sola alineación recta con tres rasantes, la primera (partiendo del lado de Barcelona) de 2.625 metros al 3 por 100; sigue un tramo horizontal de 130 metros, y termina con



Túnel de Tosas: Boca Sur.

como dificultosa, y que por deberse al distinguido Ingeniero encargado Sr. Martínez de Velasco, y á mi digno antecesor D. Vicente Salinas, puedo, con toda libertad, comentar en los términos que se merece.

Constituyó desde el principio de la construcción del ferrocarril de Ripoll á Puigcerdá, el extremo de mayor dificultad, cuan-

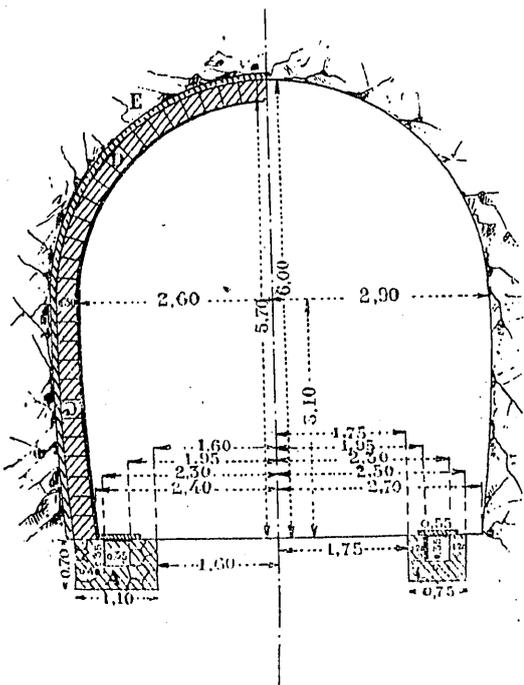
una rasante de 0,006 en 840 metros, bajando hacia Puigcerdá. La sección del túnel está formada por un semicírculo de 2,60 metros de radio para la bóveda y dos arcos de 24,30 metros de radio, que constituyen los paramentos de los estribos; su anchura, al nivel de la plataforma, es de 4,80 metros, en los arranques de 5,20 y la altura hasta la clave alcanza 5,70 metros.

Siete fueron los tipos de revestimiento acordados, según la clase de terreno, variando desde el perfil natural cuando se atraviesa roca sin agua, hasta los más resistentes con espesores de 1, tanto en la bóveda como en los estribos.

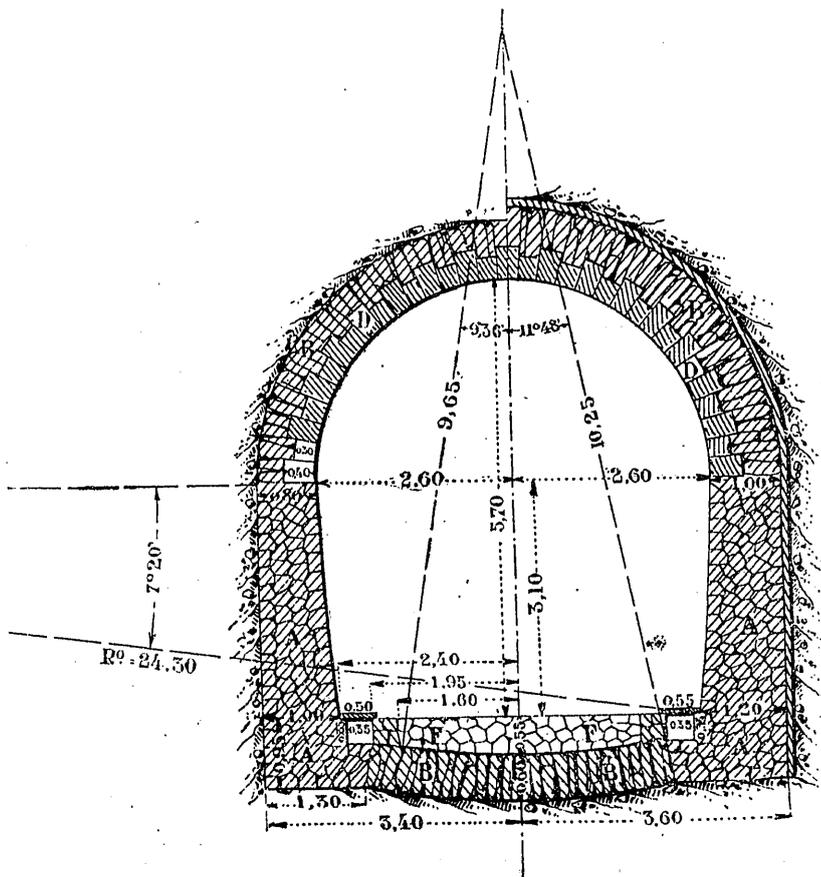
Subastadas las obras en 14 de Julio de 1911 y adjudicadas

construyendo los estribos y la contrabóveda (fig. 6.^a), si á ello hubiese lugar.

Continuáronse las obras con bastante actividad, pero ya en 20 de Junio de 1912 aparecieron las primeras grietas en las progresivas 500 y siguientes; reparadas en breve plazo, pues eran de



Tipo de revestimiento para terreno bastante consistente y perfil del túnel sin revestimiento.



Tipo de revestimiento para terrenos poco consistentes.

más tarde en 11 de Septiembre del mismo año, dieron comienzo seguidamente, atacándose la trinchera de entrada en la boca Sur en término de Tosas, y durante el verano de 1912, se comenzó

poca importancia, se notaron otras más importantes en la bóveda, á partir de la progresiva 900, que determinaron el cerramiento del anillo, completándole con una contrabóveda.

Todo esto ocurría en el primer kilómetro del túnel por la boca Sur, y aun cuando los desperfectos observados eran de relativa importancia podían ser subsanados. Mas al empezar el kilómetro segundo del túnel, y sobre todo á partir de la progresiva 1.720 (Junio de 1915), las grietas empezaron á acusar verdadera gravedad. Tanto el aumento de espesores como el armado del

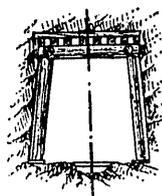


Fig. 1.^a

también el ataque de la trinchera Norte ó de la Molina. El procedimiento seguido en la perforación ha sido el belga; se empezó atacando una galería al nivel de los arranques (fig. 1.^a), la cual se

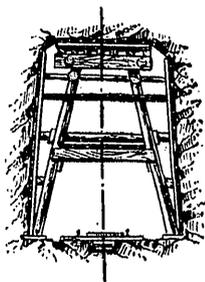


Fig. 2.^a

ensancha después (figuras 2.^a y 3.^a), y una vez conseguida la sección correspondiente, se construye la bóveda (fig. 4.^a). Síguese la excavación del *stros* y desmonte de los bataches sosteniendo la bóveda por medio de contraflijas (fig. 5.^a), finalizando el trabajo

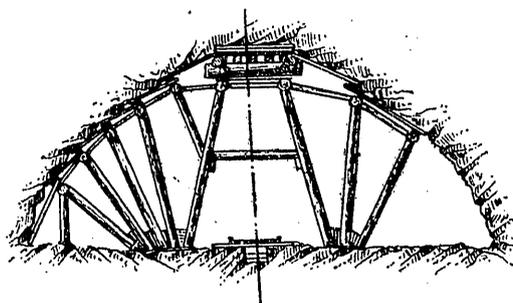
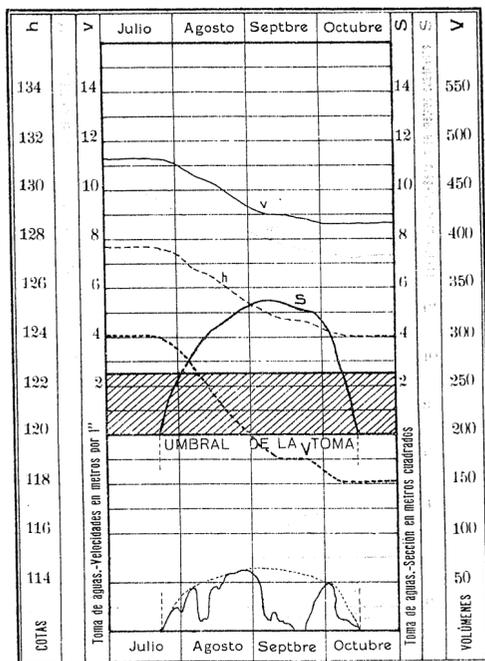


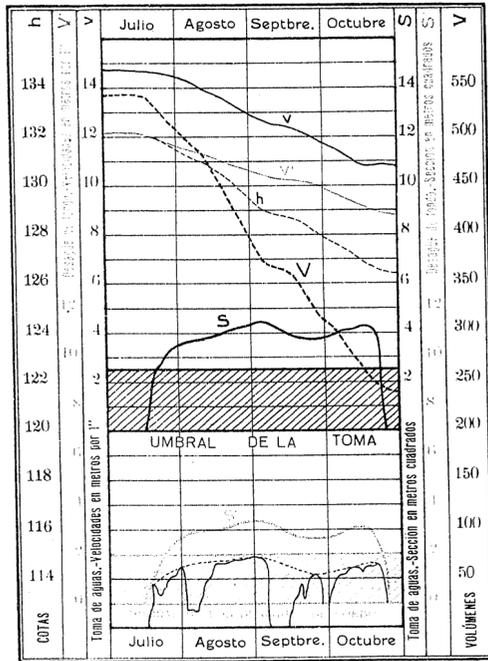
Fig. 3.^a

hormigón con carriles, la ejecución de la destroza en dos mitades, la entibación de la bóveda cuando se iba á ejecutar el *stros* ó estribos, las vigas armadas para arriostamiento de la bóveda y la condensación de trabajos para efectuar en la menor longitud de túnel las cinco partes de obras que lo integran: avance, ensanches, bóvedas, destroza y estribos, fueron los medios empleados sin resultado práctico. Las grietas, á pesar de todo, seguían produciéndose, unas mucho antes de llegar con el *stros* á

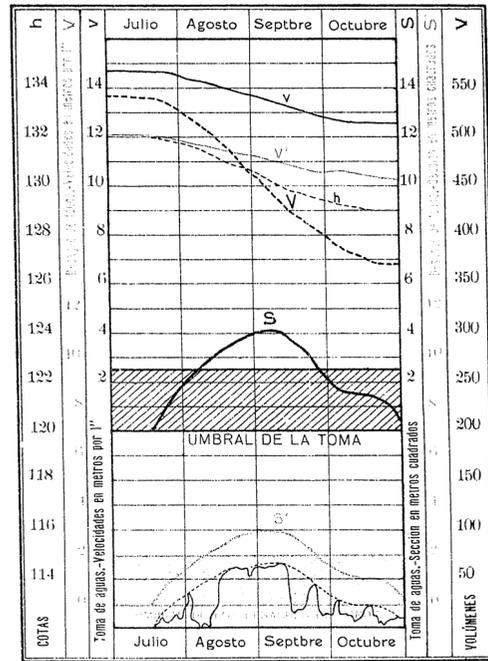
AÑO 1908



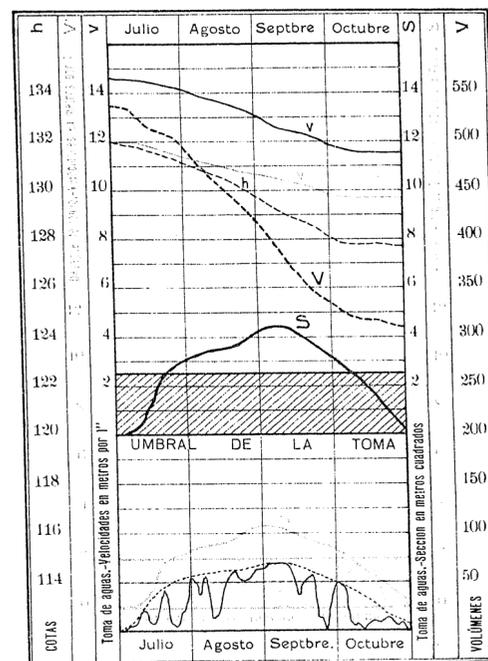
AÑO 1909



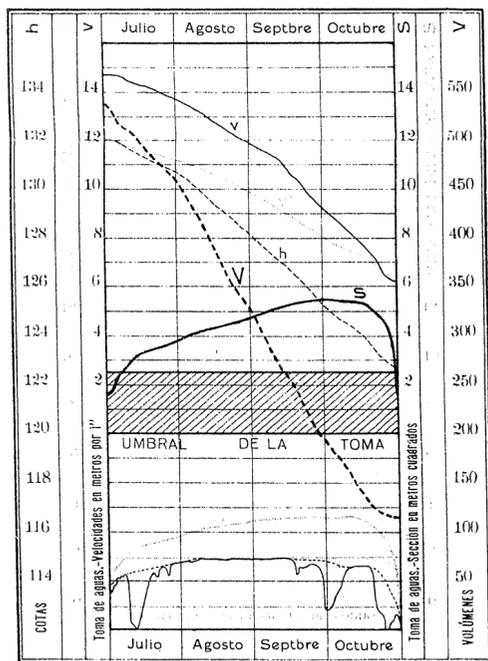
AÑO 1910



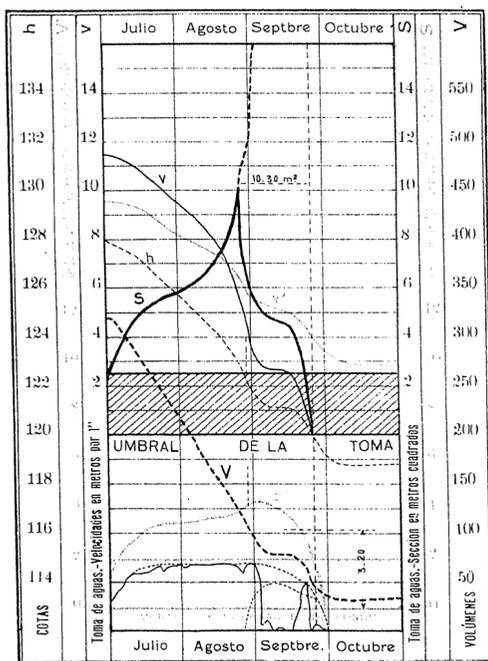
AÑO 1911



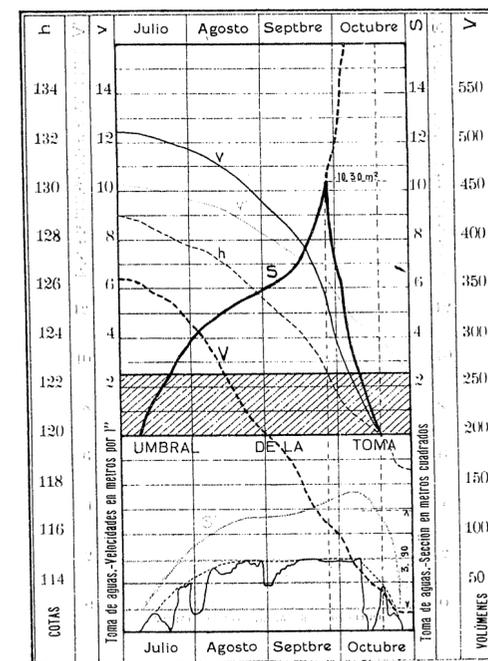
AÑO 1912



AÑO 1913



AÑO 1914



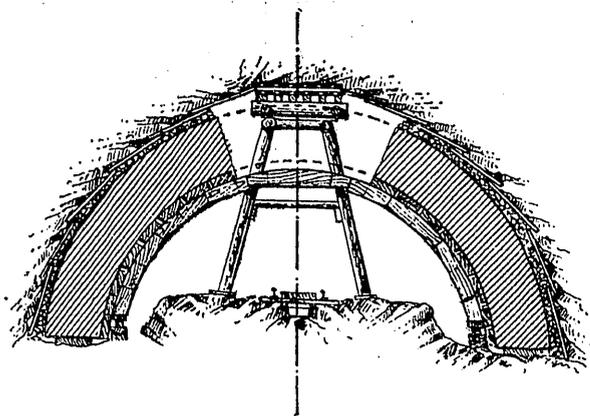


Fig. 4.ª

la bóveda revestida, y otras al ejecutar el *stros*, resultando el túnel averiado entre las progresivas 900 y 1.775.

Los estratos atravesados corresponden, al parecer, á la parte

en los espacios entre los bancos se han notado cantidades, á veces muy crecidas, de silicato de alumina, procedente de la caolinización de los feldespato, proceso favorecido extraordinariamente en estos parajes por las innumerables fisuras que en los mismos han ocasionado los anormales esfuerzos de compresión desde antiguo sufridos, por las que al penetrar el agua ha ido con el tiempo separando los silicatos alcalinos del alumínico. Quizás simultáneamente, una acción análoga operada sobre primitivos elementos de anfíbol ó piroxeno, ó sobre biotita derivada de los mismos, ha dado por resultado formación de clorita, pues los ensayos químicos realizados acusaron el predominio absoluto del silicato de aluminio en la masa arcillosa.

La edad relativa de las capas de terreno interesadas por el túnel, dada la carencia casi absoluta de fósiles, sólo puede conocerse aproximadamente, considerando que las calizas blancas cristalinas, situadas en la ladera izquierda del Rigart, en los primeros kilómetros de la carretera de Ribas á Puigcerdá, corresponden, indu-



Boca Norte: Apedero de la Molina.

alta del silúrico inferior ú ordovicense. Consisten en términos generales en *grauwackas* de elementos cuyos granos varían del tamaño mediano hasta el finísimo, de estructura esquistosa, apa-

dablemente, al ordovicense, por comparación con otras formaciones análogas del Pirineo; encima aparece una potente serie de *grauwackas* desde los tipos de elementos gruesos, verdaderas pudingas,

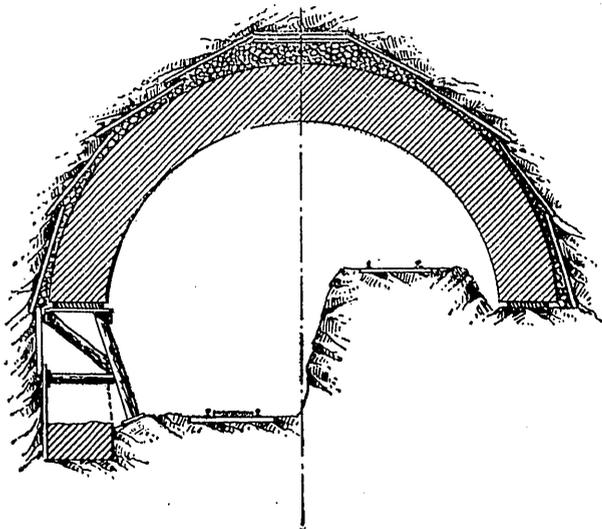


Fig. 5.ª

rentando haber estado sometidos á presiones intensas, conteniendo en abundancia feldespato, á veces bastante cuarzo, trocitos de pizarras más antiguas, algo de mica, á veces bastante clorita, algo de limonita, sin duda derivados ambos de la mica. Sobre todo

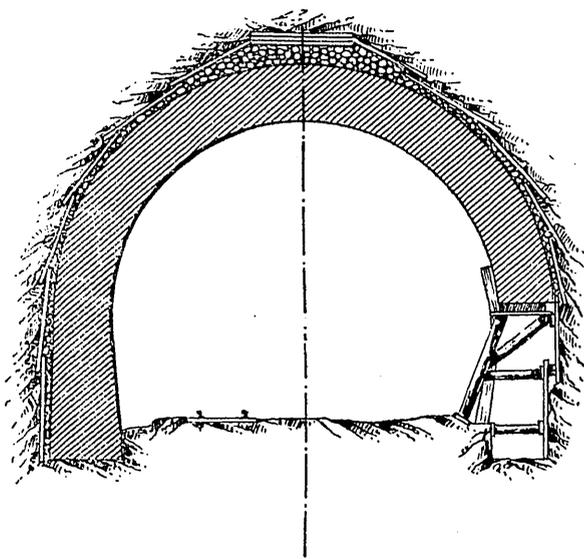


Fig. 6.ª

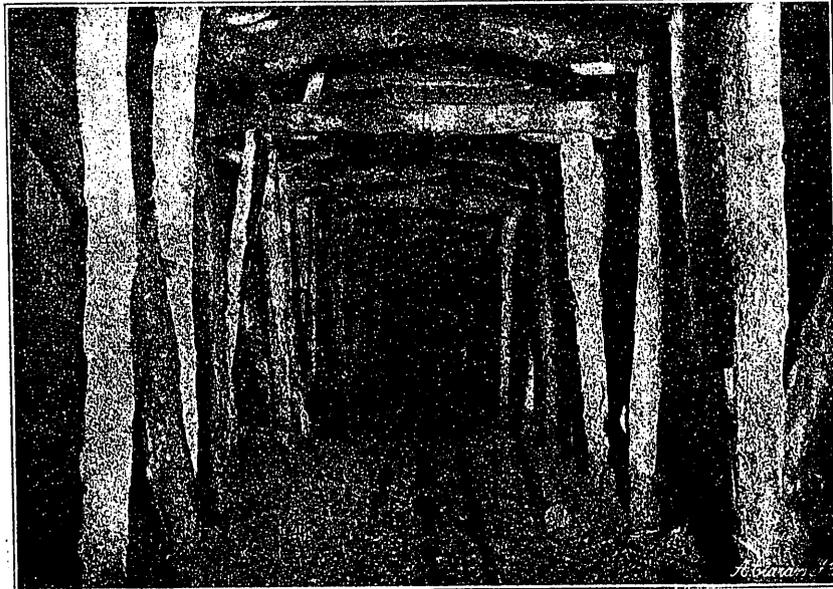
hasta los de elementos microscópicos, ó sea pizarras; unas veces el color gris propio de las *grauwackas*, otras verdosas por el efecto de la abundancia de clorita ó con matices de color de heces de

vino, sin duda por la presencia de óxidos de hierro y quizás de manganeso.

Nótase en casi todas estas capas la presencia en cantidad mayor ó menor de silicatos de aluminio, ocupando los planos de separación de las lajas ó simulando eflorescencias cuando es poco abundante y llegando á convertir gran parte del material de algu-

de Tosas y aun en el túnel helicoidal anterior al de Tosas, han sido encontrados por M. Roussel alternando con las *grawbachas* en la vecina región francesa, si bien allí contienen fósiles que permiten fijar su edad relativa, considerándolas dicho geólogo como del ordovicense.

En vista de las dificultades que iban presentándose en aumen-



Entibaciones combadas de los revestimientos.

nas capas en verdadera arcilla de color gris claro, cargada de cuarzo, muy untuosa al tacto, la cual especialmente si es alcanzada por las filtraciones de la montaña facilita las desigualdades de los asientos de los bancos de *grawbacha* ó esquistos duros y las roturas ó resbalamientos de unos fragmentos sobre otros, dando al conjunto, en cuanto el equilibrio ha sido destruido, el aspecto á veces de masas informes en cuyo seno aparecen mezclados blo-

to á partir de la progresiva 1.800, se comenzó á construir el revestimiento ya en el mes de Julio de 1916, forzando los espesores, los cuales se aumentaron hasta 1,50 metros en la clave de la bóveda y 2 metros en los arranques, y continuóse de esta suerte hasta la progresiva 1957, á la que se llegó en Julio de 1917; pero á pesar de tal aumento, las grietas siguieron formándose como siempre algunos metros antes del *stros* y cuando esto no



Entibaciones rotas en el avance progresivo 1.300.

ques y parte arcillosa. Preséntanse en efecto zonas muy caóticas aun sin humedad excesiva, como acontece en la parte central del túnel y encima de la serie de *grawbachas* se ven ya los esquistos negros de *graptolites* y calizas esquistas de colores oscuros indudablemente pertenecientes al silúrico superior, también por comparación con formaciones mejor conocidas en regiones vecinas. Las pizarras arcillosas llenas de cuarzo tan frecuentes en el túnel

ocurría, al excavar la destroza á una distancia de 5 á 10 metros de la bóveda; comenzaban á notarse fisuras que pronto se extendieron durante la construcción de los estribos.

Ante la magnitud del problema que se presentaba, y que podía determinar la ruina de lo construido, pues hay que notar que ya se empleaban fortísimas entibaciones como indican las fotografías adjuntas las cuales se rompían continuamente á pesar del

espesor de los rollizos y de su proximidad, entendió el Gobierno de S. M. que era necesario estudiar lo que en definitiva conviniese hacer antes de perder lo ejecutado, y al efecto nombróse una Comisión de Ingenieros de la mayor respetabilidad (Sres. Corderch, Salinas, Benavent, Valenciano y Zafra) para que examinara la naturaleza geológica del terreno, el sistema seguido en la perforación y las modificaciones que procedieran para lo sucesivo. Esta Comisión, después de una detenida visita á las obras, emitió su autorizado dictamen en el que estudiando la importancia de los desperfectos sufridos, y la composición de las fábricas ejecutadas, se indicó que las obras se habían realizado con sujeción á los principios de una buena construcción. Asimismo los ensayos del Laboratorio de la Escuela dieron como resultado la resistencia á la compresión de 125 á 230 kilogramos por centímetro cuadrado, con lo que quedó demostrado que las roturas producidas en las fábricas no pueden atribuirse á defectos de obra, sino á falta de resistencia ó espesor para contrarrestar las presiones que se desarrollan en el terreno, una vez perforado el túnel.

Examinó también la Comisión nuevos ó interesantes datos recogidos por el servicio de inspección, tales como la medición de los desniveles observados en la clave y estribos de los revestimientos ejecutados, de los cuales se desprende, como regla general, que el túnel se hincaba en el terreno, sin duda porque la presión que éste ejercía sobre la bóveda, cuyo diámetro exterior alcanzaba á 6,80 metros ó más, debía ser contrarrestado por la superficie de apoyo de los dos estribos, cuyo ancho no excede, en los tramos construídos, de 3 metros. Se observó también el resultado de las repetidas mediciones de las luces del túnel, á la altura de los arranques de la bóveda y á 0,50 metros por encima de la zarpa de cimientos de los estribos, mediciones que ponían de manifiesto un constante estrechamiento debido á las presiones ejercidas por el terreno sobre la bóveda y estribos, estrechamientos que de momento quedaban contenidos tan pronto como se construía la contrabóveda.

Entendió por fin la Comisión que las dificultades, más que de la alterabilidad de las rocas puestas al descubierto, provenían de su poca consistencia y de las acciones mecánicas que sufrían por el peso de las masas superiores, circunstancias determinantes de que la primitiva rigidez observada al ser excavadas fuera siendo sustituida por una plasticidad cada vez más cercana á la fluidez, estado que con gráfica y oportuna frase se califica de *fluidez perezosa*, la cual con el tiempo transmitía á los revestimientos el enorme peso que sobre ellos gravitaba. La carga correspondiente á la progresiva 1.750, á que próximamente se llegó con los trabajos, en Mayo de 1916, cuando se verificó la visita de la Comisión era de unos 270 metros, y si la fluidez de la masa fuese perfecta, como su densidad media aproximada es de 2,6, la presión sobre el trasdós del revestimiento sería de unas 70 atmósferas, ó sea de 70 kilogramos por centímetro cuadrado. Claro es que la cohesión de los terrenos rebaja esta cifra en una cantidad que no puede calcularse sino suponerse, pero en cambio la presión vendría aumentada en $\frac{1}{4}$, si se considera el punto culminante del túnel correspondiente al collado de Tosas, y hasta en el doble si se tienen en cuenta las mayores cotas que á derecha é izquierda de él alcanzan los montes vecinos. Esta circunstancia probablemente dará lugar á competentes inclinadas en dirección NE. á SO., cuya intensidad no es probable se acerque al máximo de 140 kilogramos por centímetro cuadrado que correspondería á la fluidez perfecta, pero en algún punto ó zona podría alcanzar una fracción importante de aquélla, según la dirección y composición mineralógica de los estratos.

Por el aumento de las cargas se deduce, desde luego, que el

espesor de los revestimientos ha debido ir en aumento á medida que la galería ha ido penetrando en la montaña, y que debería ser considerable el que hubiese que proporcionar en la parte que falta construir. Para formarse idea de ello, supóngase una sección circular de 6 metros de diámetro interior con un espesor de 3 metros, sometida á una presión exterior de 14 kilogramos por centímetro cuadrado, cantidad igual al décimo de la máxima antes deducida, reducción que se supone corresponder á la diferencia de estados entre la fluidez perfecta y á la perezosa de los terrenos en que se perfora el túnel, y á la separación con respecto á él de las masas de rocas que la determinan. La fábrica del revestimiento debería en tal caso resistir, según la teoría de Castiglione, una carga ó presión R que se deduce de la fórmula

$$R = \text{Presión exterior} \times \frac{\text{Radio exterior del revestimiento.}}{\text{Espesor del revestimiento.}}$$

ó sea

$$R = 14 \text{ kg.} \times \frac{6}{3} = 28 \text{ kg. por c. m.}^2$$

y suponiendo que se adopte para R el décimo de la carga de aplastamiento del material, ésta debería ser de 280 kilogramos por centímetro cuadrado, carga que como se ha visto puede imponerse á las fábricas con que se construye el túnel.

Si se supone reducido á 2 metros el espesor del revestimiento, la carga que habría de resistir el hormigón, dentro de las mismas hipótesis, sería de 350 kilogramos por centímetro cuadrado, á que difícilmente llegan los hormigones, como no sea después de transcurrido un largo plazo desde su fabricación, condición que sólo podría conseguirse con la suspensión total de las obras que por múltiples razones no cabe admitir.

De acuerdo con el dictamen de la Comisión, y por Real orden de 19 de Septiembre de 1916, se dispuso:

1.º Que se construyera la contrabóveda de 0,60 metros de espesor desde la progresiva 800 hasta la 900 y que se vigilara cuidadosamente todo el tramo anterior para agregarla tan pronto como se observara en las bóvedas ó estribos cualquier indicio de movimientos.

2.º Que entre las progresivas 900 y 1.500, en las que estaba ya construída ó en construcción la contrabóveda, se siguiera observando si el revestimiento había llegado al estado de equilibrio, en cuyo caso se procedería sin demora á la reparación de los desperfectos sufridos por las fábricas; y que caso contrario se entibase provisionalmente el túnel en los puntos que ofrecieran peligro, para evitar mayores daños ó accidentes personales.

3.º Que entre las progresivas 1.500 á 1.737, donde estaba ya construída la bóveda, faltando todo lo restante del revestimiento, se practicarán el *stros* y se construyeran los estribos por tramos de 2 á 5 metros de longitud, á no ser que el personal de la inspección, en vista de una favorable modificación de las condiciones del terreno, ó de mayores inconvenientes en la marcha de las obras, juzgase conveniente aumentar dicha longitud. Los estribos deberán ser de hormigón en masa por lo menos y la contrabóveda del mismo material y de 0,80 metros de espesor.

4.º Que entre las progresivas 1.737 á 1.800 podría darse á la bóveda y estribos el espesor de 3 metros modificando con arreglo á dichos espesores los de los revestimientos aprobados.

5.º Que entre las progresivas 1.800 á 2.700 se construyera el revestimiento con espesores medios de 2 metros en la clave, y proporcionalmente el de las restantes partes del revestimiento, según las condiciones del terreno.

6.º Que en el tramo 1.502 á 2.700 podía emplearse el sillarejo artificial en los estribos, ya sea por anillos de 5 metros de lon-

gitud ó como contrafuertes de 2 ó 3 metros empotrados entre el hormigón en masa.

Haciendo uso de la amplia autorización concedida por la Superioridad, se procedió en un tramo de 10 metros de longitud á efectuar los ensanches necesarios para los espesores de 3 metros, admitidos en la bóveda y estribos. El resultado fué muy alarmante; el terreno hubo de entibarse para la bóveda en una altura libre de $3 + 2,60 = 5,60$ metros, para que luego los albañiles pudieran trabajar; las primeras piezas del abanico de la entibación tenían más de 6 metros de longitud y luego tuvieron que colocarse siete piezas más de inclinación creciente para sujetar el terreno en los riñones de la bóveda. Aun escogiendo estas varillas del abanico entre las más robustas de los bosques cercanos y arriestrándolas entre sí por medio de botones y tornillos, resultó que los pies, desde la segunda hasta la séptima, casi no cabían en el metro libre, entre el pie de la primera pieza y el intradós de la bóveda, y las piezas primeras, á causa de su gran longitud, empezaban á sufrir apenas terminadas de colocar y bajaba la corona algunos centímetros, no comprometiéndose los capataces á realizar y dejar la entibación en las debidas condiciones; porque este espesor de 3 metros en la clave es prácticamente imposible de alcanzar con los medios corrientes de ejecución de túneles. Por ello, y considerando que el espesor de 1,50 metros en la clave y 2 en los arranques, no alcanzado hasta la fecha en casi ningún túnel de los construídos, era más que suficiente para resistir los empujes del terreno, parecía que debía sobrepasarse buscando el remedio á las grietas, no en el aumento de espesor desproporcionado, sino en una mejora del material de construcción ó en el procedimiento de éste.

José M. FÚSTER.

(Continuará.)

LA ENSEÑANZA EN LA ESCUELA FEDERAL DE ZURICH

Los cursos de Mecánica aplicada.—Hemos seguido estos cursos puntualmente en los capítulos I á III de este trabajo (1) y ahora deseamos aquí hacer únicamente su recapitulación con algunos comentarios que nos sugieren.

En primer lugar es notable el criterio seguido para la separación de ambos cursos: el primero, dedicado á la Resistencia de materiales y á la Mecánica de los sistemas isostáticos, y el segundo, á la de sistemas hiperestáticos. Es decir, que, aparte del estudio de la resistencia, que es prólogo obligado, se traza la divisoria atendiendo al carácter *mecánico* de los sistemas.

El método nos sorprende tanto más cuanto que el nuestro clásico es puramente *geométrico*. Atiende á la *forma* del sistema, y por ella se estudian: primero, las piezas rectas, y después, las curvas, y, dentro de éstas, la de menor á mayor complejidad geométrica.

El cálculo de un sistema está virtualmente resuelto con el conocimiento de los momentos flectores y esfuerzos tangenciales, correspondientes á todas sus secciones; después de esto, el problema degenera en uno de repartición de cargas, que es siempre el mismo. El nudo es, precisamente, la determinación de aquellos instrumentos de cálculo, momentos y esfuerzos tangenciales. Hay dos caminos: el liso y llano que ofrece la Estática, cuando alcanza, ó el más tortuoso que requieren los sistemas hiperestáticos.

(1) Contienen los programas, que se publicaron junto con esta recapitulación en el último Anuario de la Escuela especial de nuestro Cuerpo y los cuales insertamos en números sucesivos de esta REVISTA.

Igualmente fácil es el cálculo de un arco con tres rótulas, ó de una viga de varios tramos isostatizada con rótulas intermedias, que el de la estructura más sencilla: viga empotrada en un extremo ó la simple, sustentada sobre una rótula y un apoyo deslizable. La forma curva ó recta en nada altera ó influye sobre el cálculo.

Por el contrario, la estructura hiperestática más elemental, la pieza empotrada en sus extremos, exige una orientación distinta, necesitando completar los datos insuficientes de la estática con el conocimiento de las deformaciones.

La importancia práctica de la distinción entre sistemas isostáticos é hiperestáticos es fundamental. Por ejemplo: Mörsch cuenta en uno de sus escritos, que, encargado de la redacción de un proyecto de puente, el escaso plazo que se le fijó para presentarlo le decidió á elegir una estructura isostática.

Claro es, volviendo á los cursos del Politécnico, que la clasificación adoptada tiene como base el establecimiento de reglas para distinguir claramente unos sistemas de otros. Así, se estudian las sustentaciones por las reacciones elementales que producen, y luego, como aplicación, ejemplos de varias estructuras completas. Este punto se nos figura que es uno de los cardinales de la Mecánica moderna, que no debe pasarse por alto.

A nosotros nos seduce sobremanera la claridad, robustez y la utilidad práctica de la clasificación adoptada. En el desarrollo podría criticarse acaso la demora al tratar los sistemas hiperestáticos, que pesan como una interrogación constante durante todo el primer curso. El contestarla desde el primer momento brevemente, y, por supuesto, á reserva de ampliarla, daría la visión dilatada de toda la Mecánica. Pero, en contra de esto, también comprendemos la necesidad para la distribución y equilibrio de materias en los dos cursos. Y, sobre todo, que la divisoria no quedaría marcada tan intensa y fuertemente.

Este es el rasgo más saliente y el que da la fisonomía á los cursos del Politécnico de Zurich. Junto á él los otros son secundarios, aunque también tengan valor en sí. Es de éstos, por ejemplo, un bello complemento á la Resistencia de materiales en su forma clásica (1): la consideración del sólido heterogéneo. Aquí encuentra el hormigón armado sus raíces y nace con todo el prestigio científico que merece. Uno de los primeros ejercicios que resuelven los alumnos es la comprobación de piezas armadas; no se espera que lleguen á su conocimiento especializado, practicándose así el principio de que la Mecánica del hormigón armado es la misma que la de cualquier otro material.

El sólido heterogéneo es un cuerpo constituido por elementos de elasticidad diferente. El caso corriente del cuerpo, sin resistencia á la tracción (hipótesis usual para fábricas de materiales pétreos), es simplemente una degeneración del caso general. Se estudian en éste las cargas unitarias normales y tangenciales de una sección, exactamente lo mismo que se había hecho antes en el caso de piezas de elasticidad uniforme.

Aparte de esto, y como no sea la ordenación peculiar, poco más de notable contiene el primer curso. Así, dentro del mismo, y con arreglo á las ideas expuestas de considerar la determinación de los elementos de cálculo momentos flectores y esfuerzos cortantes, como fundamental del problema mecánico, se estudia su cálculo para los sistemas isostáticos más comunes: viga simple, ídem de varios tramos con rótulas intermedias y el arco de tres rótulas. Por lo común se comienza con una breve explicación de los métodos más apropiados, que luego se desarrollan á algunos casos, especiales por las dimensiones del sistema ó

(1) *Mecánica aplicada*. Primer curso, cap. II.