

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

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

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

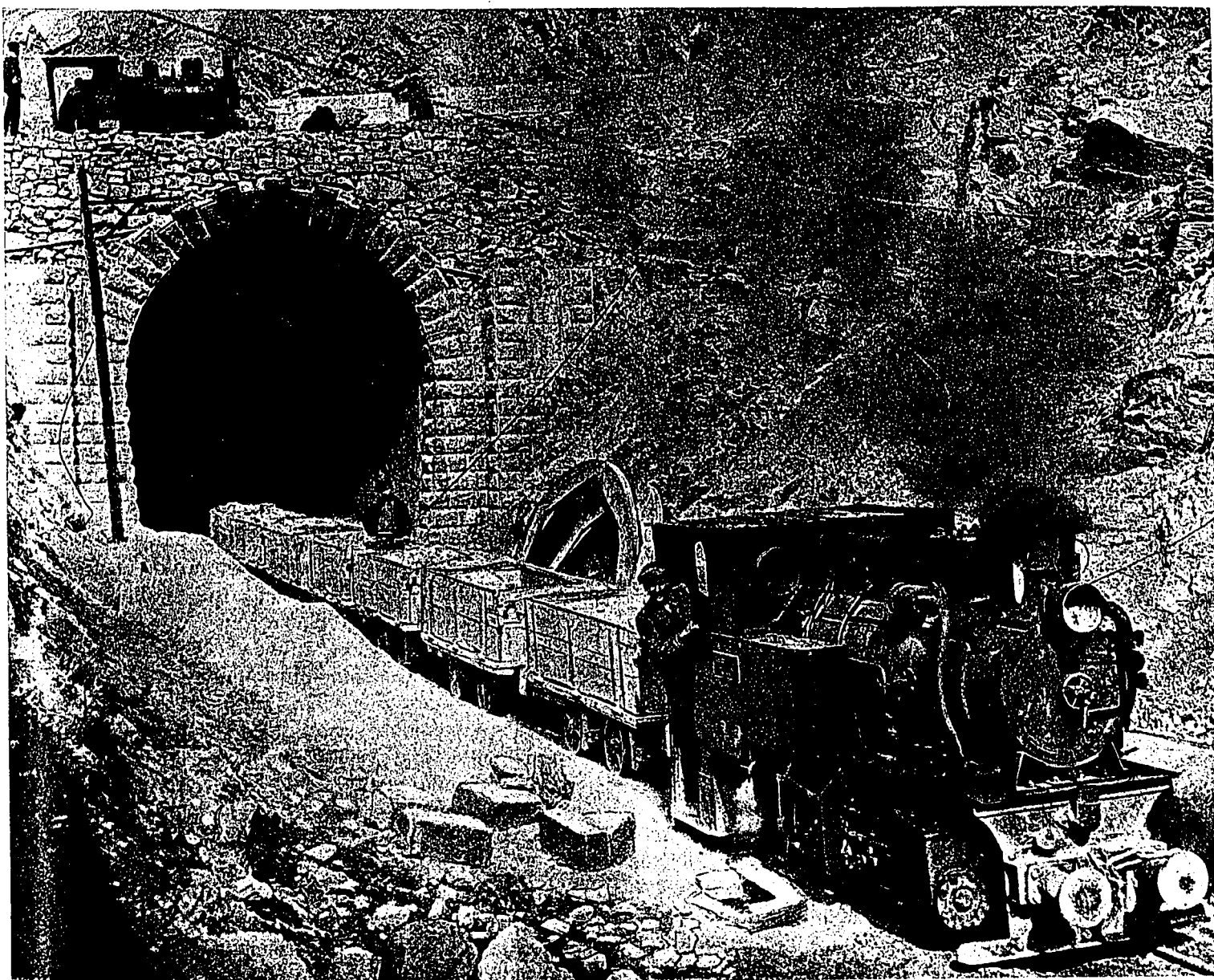
LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

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

FERROCARRIL TRANSPIRENÁICO DE ZUERA Á OLORÓN

EL TÚNEL INTERNACIONAL DE SOMPORT (CANFRANC)



Actualmente en construcción, de gran longitud (7.810 metros), perforado según los últimos adelantos y precursor de otros túneles de gran importancia que habrán de

construirse en España (Tosas, Salau, etc.), creo que será de alguna utilidad para mis compañeros el conocimiento de la forma en que se ejecutan los trabajos.

Al encargarme de la redacción del proyecto estaban fijadas aproximadamente las bocas del túnel, de acuerdo entre los Gobiernos de España y Francia y determinadas las tres rasantes de que consta su perfil. Son éstas una rampa de 0,0046 del lado español, un tramo horizontal de 200 metros y una pendiente de 0,032 del lado francés. La tracción en el túnel se había acordado que fuese eléctrica. Las negociaciones fueron muy laboriosas, pues había que armonizar los intereses de ambas naciones, tanto desde el punto de vista constructivo, como desde el de las defensas militares.

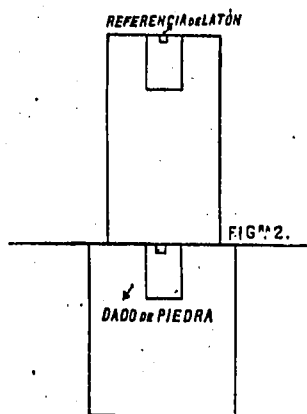
Se propusieron muchas soluciones, y cabe la honra al Ingeniero D. Joaquín Bellido de que se aprobase la propuesta por él.

Los estudios se hicieron levantando contradictoriamente un plano taquimétrico del macizo del Somport, y se dedujo la dirección aproximada del eje del túnel.

Para determinarlo con la exactitud que requiere cuestión de tanta transcendencia, se hizo en el verano de 1907 una triangulación, empleándose en la medida de sus bases métodos expeditos, según creo, por vez primera en España, por lo que la describiré con algún detalle.

TRIANGULACION

La figura 1.ª (lámina 1.ª) es el croquis de ésta. Se construyeron dos pilares de fábrica, uno en Francia y otro en España, colocados aproximadamente en la alineación del eje del túnel, deducida del plano taquimétrico; son los



que figuran en el croquis con las denominaciones Pilar de dirección y Borne de direction. Estos pilares se construyeron en la disposición indicada en la figura 2.ª Se trataba de individualizar dos puntos de la alineación que sirviesen para el trazado de ésta y que tuviesen la permanencia necesaria. Se hizo una cimentación importante, y en su centro se colocó un dado

de latón. Sobre este ciento se construyó un pilar de 0,60 metros de lado y 1 metro de altura. En la parte superior se puso otro dado de piedra con otra referencia, de modo que los centros de ambas referencias estuviesen en la misma vertical.

Para prevenir aún más el caso de que pudiera desaparecer el pilar, se refirió la situación de éste á cuatro dados de piedra mampostados en la roca. Hecho esto, se procedió á la elección de bases.

En España la base está situada en el valle de los Arañones y tiene una sola alineación que contiene al Pilar de dirección. En Francia la base está en el valle de Forges d'Abel y tiene dos alineaciones, estando en el encuentro de ambas la Borne de direction. En las extremidades de las bases se construyeron pilares análogos á los anteriormente descriptos, y son los denominados Término Norte, Término Sur, Terme Nord y Terme Sud.

Los vértices, cuyas alturas sobre el nivel del mar oscilan entre 1.700 y 2.100 metros, son

En España:

Estibiellas.
Samán.
Pecauvé.
La Raca.
Tobazo.

En Francia:

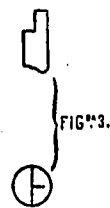
Peyrenere.
Estanés.
Morlorón.
Couecq.
Thézy.

Los puntos de vértice consisten en dados de sillería mampostados en la roca y que tienen en su centro referencias de latón, con una cruz muy fina grabada.

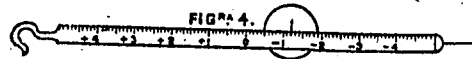
Elegidos los vértices se procedió á la medida de las bases. El procedimiento empleado fué el de hilos Jüderin.

Primeramente se dividieron las bases en porciones de 24 metros por medio de cintas y se colocaron estacas en los puntos de división. Como es natural, las bases no comprendían un número exacto de distancias de 24 metros, sino que quedaba un resto.

La medición se hacía según la pendiente del terreno, pues las bases distaban mucho de ser horizontales. Seguidamente se colocaban sobre las estacas fijadas trípodes de madera, que llevaban en la parte superior un vástago de latón, el cual por medio de dos articulaciones de nuez podía colocarse en la alineación y de modo que quedase vertical. Dicho vástago terminaba en la forma indicada en la figura 3.ª. Los trípodes se asentaban fuertemente en el terreno, clavando los pies con martillo, pues uno de los fundamentos del método es que los trípodes no sufran ningún movimiento. El número de trípodes era de cinco, que se empleaban y trasladaban sucesivamente á medida que se hacía la medición.



Desde los términos de la base y por medio de teodolitos, se alineaban los vástagos de los trípodes y después se nivelaban con mucha precisión. Hecho esto, se procedía á la medición propiamente dicha. Se hacía con hilos de acero que llevaban en sus extremos reglillas graduadas, de modo que estando el hilo tendido la distancia entre los centros era de 24 metros. En los extremos de las reglillas había ganchos para unirlos á dinamómetros. Entre cada dos trípodes, y de modo que las reglillas descansasen en los vástagos (fig. 4.ª), se disponía el hilo y se enganchaban los extremos de las reglillas á dos dinamómetros, que sostenían por medio de bastones dos obreros regulando la tensión del hilo, haciendo que los dinamómetros marcasen una cifra determinada.



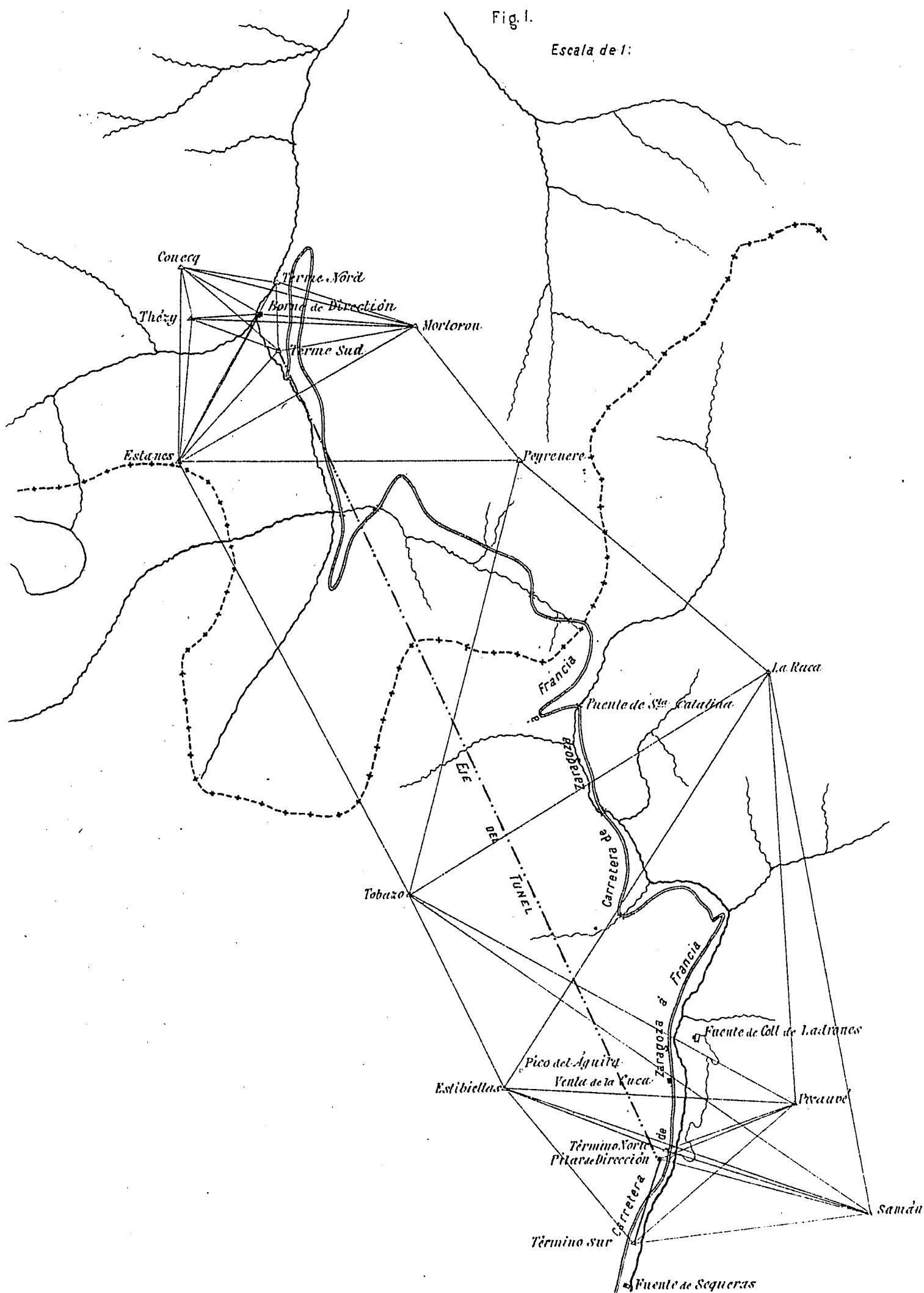
Colocado un observador ante cada trípode, leía la división de la reglilla que coincidía con el trazo grabado en el vástago, apreciando á la vista la fracción de milímetro, y como inevitablemente las reglillas estaban moviéndose continuamente, era preciso que los dos observadores estuvieran variando mentalmente las lecturas hasta que á una voz convenida cantaban la última. Se hacían cinco lecturas, y después se colocaba otro hilo y se hacían otras cinco. Terminadas éstas, se reunían los que llevaban las libretas y comprobaban:

- 1.ª Si las longitudes deducidas de cada lectura eran iguales y se aceptaba si la diferencia era menor de dos décimas de milímetro.
- 2.ª La misma comprobación para las lecturas hechas con el segundo hilo; y
- 3.ª Comparación entre las longitudes deducidas con cada hilo.

CROQUIS DE LA TRIANGULACIÓN PARA EL TÚNEL DE SOMPORT

Fig. 1.

Escala de 1:



De este modo se medían todos los tramos de 24 metros hasta llegar al final, y el resto se medía en la misma forma, empleando un hilo dividido en milímetros. En cada medición se tomaba la temperatura del aire. Los hilos se comprobaron en París antes de hacer la medición y después. Con los datos de medida, nivelación y temperatura se determinó la distancia horizontal.

Las operaciones duraron un día para cada base, y si se tiene en cuenta que una de ellas tenía más de 900 metros, se comprenderá que el método es de un empleo muy rápido dentro de su gran exactitud. Asimismo es fácil de ejecución hasta el punto de que el personal que lo hizo, no lo conocía. Solamente es preciso que los encargados de las lecturas tengan vista perspicaz y gran fuerza de atención. En las dos mediciones de la base ida y vuelta sólo fué preciso repetir las lecturas en dos tramos de 24 metros por diferir las longitudes deducidas en más de dos décimas de milímetro.

Medidas las bases, se pasó á medir los ángulos. El aparato que se empleó fué un teodolito Brunner reiterador, cuya apreciación era de 25" centesimales.

Las miras que se emplearon eran de dos tipos. Las que habían de proyectarse sobre el cielo constaban de un poste de sección cuadrada de 0,10 metros de lado, y clavadas en él tres órdenes de tablillas en la forma indicada en la figura 5.^a La mira se colocaba á 2 metros próximamente del dado de vértice empotrada 0,30 metros y sostenida en posición vertical con vientos. Estaba pintada de negro para hacerla más visible.

Las miras que habían de proyectarse sobre el terreno, ó sea las que servían para hacer observaciones sobre los pilares de dirección y términos de las bases eran tablillas (fig. 6.^a), que se sujetaban con yeso á los pilares. Para que estas tablillas pudieran servir de puntos de mira para los distintos vértices, y en consecuencia desde distancias variables entre límites muy extensos, llevaban pintadas fajas blancas y negras alternativamente, de modo que para pequeñas distancias servía de mira la faja central y desde grandes distancias se bisectase el espacio comprendido entre dos fajas.

Para hacer la medida de los ángulos fué preciso construir sendas de acceso á los vértices, pues había peligro para el transporte del aparato, que había que llevarse á hombros.

Para hacer la medida de los ángulos fué preciso construir sendas de acceso á los vértices, pues había peligro para el transporte del aparato, que había que llevarse á hombros.

Se instalaba el teodolito sobre su trípode, procurando que la plomada estuviese próxima á la referencia, sin obstinarse en que coincidiera exactamente, pues aparte de que era muy difícil, convenía aprovechar el tiempo, pues con frecuencia había bruma que impedía la observación, y muchas veces, después de una fatigosa ascensión á pie de de tres ó cuatro horas, era preciso descender sin haber podido terminar la observación.

Instalado el aparato, se fijaban los pies del trípode con yeso y se hacía la lectura de los ángulos con cuatro reite-

raciones, dos con el anteojo á la derecha y otras dos con el anteojo á la izquierda. La lectura se hacía siguiendo la vuelta completa de horizonte, y se daba por buena si el cierre resultaba ser de 400" más ó menos 25" apreciación del aparato. A continuación se colocaba una hoja de papel sobre la referencia y se marcaba en él el centro de ésta y el punto donde caía la plomada. Después se medía la distancia entre el eje del aparato y el centro de la mira. Con esto se tenían los datos necesarios para la reducción á centro de estación y de mira.

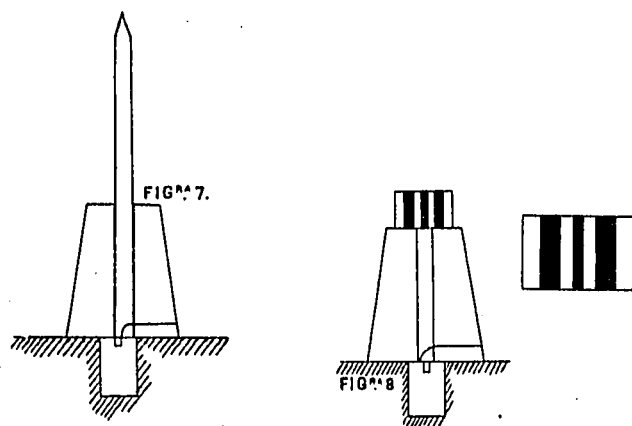
Efectuados los cálculos de la triangulación, se dedujeron los ángulos que formaban con la dirección del eje del túnel las visuales dirigidas desde los pilares de dirección á todos los vértices, con un error menor de 20" centesimales. Utilizando todos los puntos visibles desde el pilar, se podrá tener la dirección del eje del túnel, con un error menor de 10" centesimales.

Para poder repetir, si fuere necesario, alguna de las operaciones, se protegieron todos los vértices, colocando sobre las referencias hojas de papel engrasado, que evitase la oxidación de éstas, y losas de piedra tomadas con cemento á los dados de sillería.

Los trabajos de la triangulación duraron dos meses, tiempo que no parecerá excesivo, si se observa que á cada vértice hubo que ascender tres veces, por lo menos, sin contar los días que una vez hecha la ascensión era imposible hacer observaciones por el estado de la atmósfera. En cada una de las ascensiones á vértice se empleaba un día completo, pues solamente en subir se tardaba de tres á cuatro horas.

Trazado directo del eje del túnel.

La Comisión Internacional para el estudio y construcción de los ferrocarriles transpirenáticos, acordó que se hiciese deducido de los cálculos de la triangulación, un replanteo del eje del túnel, y así se hizo en el verano de 1908.



Se procedió en primer término á colocar en los vértices las miras definitivas. Según habían de proyectarse sobre cielo ó sobre el terreno, se usaron las representadas en las figuras 7.^a y 8.^a

La de la figura 7.^a está construída en la forma siguiente; sobre el dado de piedra con referencia de latón que se utilizó en la triangulación, para fijar el vértice, se colocaba un tubo de hierro de modo que quedase vertical y su eje coincidiendo con el centro de la referencia. Se construía un pilar de mampostería sujetando el tubo y después se introducía en éste un asta de madera de caoba que se haría descender al fondo sobre el pilar que tenía 0,70 metros

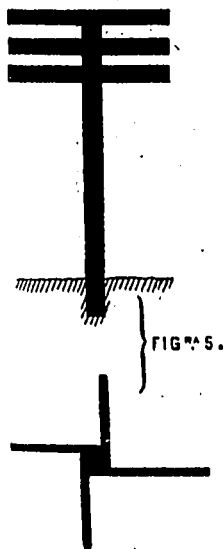


FIG.^a 5.

FIG.^a 6.



de altura sobresalía el asta 1 metro. El diámetro del asta, y, por consecuencia, el del tubo, variaba, según la distancia, de cada vértice al pilar de dirección y se determinaba de modo que la cerda vertical del retículo, bisectase exactamente dicho diámetro. Conociendo la distancia y el ángulo en el centro que correspondía á la cerda del retículo, se conocía el diámetro que ocultaría y haciendo el asta de un diámetro triple, se conseguía la bisección.

La mira representada en la figura 8.^a está constituida en forma análoga, salvo que en vez de asta de madera, se colocaba en la parte superior una placa de hierro con fajas pintadas alternativamente de blanco y negro, y de anchos variables, según la distancia del vértice al pilar de dirección, á fin de conseguir la bisección antedicha.

El aparato empleado en esta operación y que es el que se utiliza para el trazado en galería, tiene un limbo horizontal de 0,18 metros de diámetro, y la lectura directa obtenida por microscopios con tornillos micrométricos, es de 10" centesimales. Los oculares son en número de dos y de 22 y 28 aumentos. Tiene, además, iluminación eléctrica del retículo para trabajos en el interior del túnel. Fué construido por la casa Kern de Aarau (Suiza).

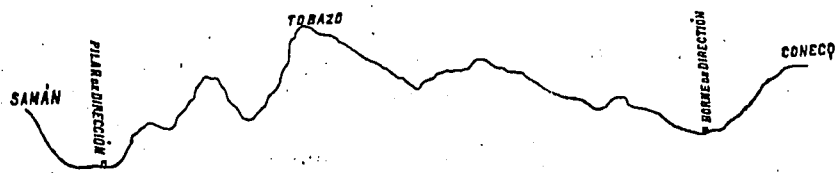


FIG. 9.

Para hacer el trazado directo se comprende examinando el perfil longitudinal (fig. 9.^a), que con objeto de no multiplicar el número de estaciones intermedias, era preciso colocar el aparato en el pilar de dirección y utilizando los ángulos deducidos de la triangulación, fijar un punto en Samán y desde éste, visando el pilar de dirección, colocar otro en el Tobazo. Desde la Borne de direction, colocar un punto en Couecq y desde este visando la Borne de direction, colocar otro en el Tobazo. Ver si ambos puntos del Tobazo coincidían, y una vez comprobado, colocarse con el aparato en dicho punto y observar si mirando á Samán ó Couecq, al invertir el anteojo coincidía la visual con el otro.

Explicaré con detalle cómo se fijaba el punto de Samán, por ejemplo, pues de ello se deduce fácilmente cómo se procedería para los demás. Instalado el aparato en el pilar de dirección se dirigía la visual á uno de los vértices y se formaba el ángulo que con éste tenía la dirección del túnel. Por medio de banderas se hacían señales á los operadores que previamente habían ascendido á Samán, para que colocasen el asta que llevaban en la posición determinada, y fijada ésta, se hacía una vuelta de horizonte midiendo los ángulos, y si el cierre era de 400' más ó menos 10' se daba por buena la posición del punto. Si no se conseguía esto, se variaba y se repetía la operación hasta que se consiguiese el resultado.

Los puntos que se colocaron en el Tobazo desde Samán y Couecq sólo distaban 0,025 metros, y colocando el aparato en el medio coincidía por inversión la visual dirigida á Samán con el punto de Couecq.

Las operaciones del trazado directo fueron interrumpidas muchas veces por lluvias y nieves; pero la dificultad mayor con que hubo que luchar fué el viento, hasta el punto de que hubo necesidad de construir casetas de ma-

dera desmontables para poder instalar el aparato en algunos puntos.

Nivelación.—Para determinar con precisión las pendientes del túnel, se hizo en el verano de 1908 una nivelación entre los pilares de dirección español y francés. La distancia entre éstos se había deducido por la triangulación.

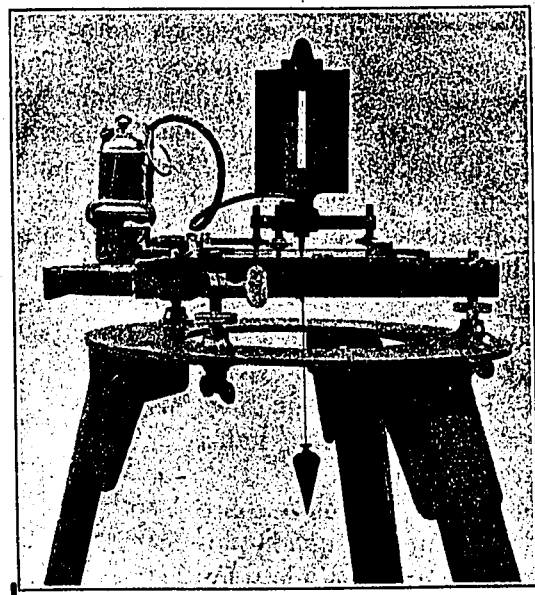
La nivelación se hizo empleando un aparato de nivel reversible, modelo del catastro suizo. Las miras eran iguales á las que usa el Instituto Geográfico. Éstas se colocaban á distancias iguales del aparato y sobre cabezas de clavos hincados en estacas.

Trazado del eje en galería.

Hasta tanto que la longitud de galería era pequeña, se utilizó para dirigirla una barra de hierro colocada sobre la boca del túnel y fijado por el ángulo formado con el vértice Pecauvé.

Cuando se llegó á la distancia de 600 metros, se colocó un punto fijo, utilizando instrumentos especiales, contruidos por la casa Pfister und Streit de Berna.

La operación de fijar el punto se hacía en la forma siguiente: Se empezaba por instalar el teodolito anteriormente descrito sobre el pilar de dirección, y á la distancia de 600 metros dentro del túnel, se colocaba un fuerte trípode de hierro en el punto que aproximadamente estaba en el eje de la galería; este trípode tiene en su plataforma un vacío circular de 0,30 metros de diámetro, para que sin mover el trípode pueda trasladarse entre límites bastante extensos, la señal luminosa, y por consecuencia la plomada que á ella se une. Sobre el trípode va colocada por intermedio de tornillos nivelantes, una plataforma de acero, que consta de dos partes, una fija y otra móvil, con relación á la primera, cuyo movimiento se da por medio de un tornillo. La amplitud de los movimientos se mide por una



La mira luminosa instalada para fijar un punto.

escala colocada en la pieza fija y un índice unido á la móvil. En la pieza móvil están practicados rebajos para recibir los tornillos nivelantes de la mira luminosa, y como también ha de poder colocarse el teodolito, y la distancia entre sus tornillos nivelantes es distinta de la de la mira—para no hacer ésta demasiado grande—, hay otros dispositivos para recibir el aparato. Del centro del círculo determi-

nado por estos rebajos sale la plomada. Con esta disposición se tiene la certeza de que al sustituir la mira por el aparato, el eje del segundo coincide con el de la primera.

Para que se comprenda mejor la operación tomemos como ejemplo lo que se hace para el vértice Pecauvé. Éste, según los cálculos de la triangulación, forma, tomando el pilar de dirección como vértice, con la alineación del túnel, un ángulo de $293^{\circ} 32,50$. Se ponen en coincidencia los ceros del limbo y micrómetros y se apunta á la señal. Formado el ángulo se hace que por medio del tornillo de movimiento, entre las partes fija y móvil del soporte de la mira luminosa, se coloque ésta en coincidencia con la visual. Esta mira luminosa presenta una ranura rectangular, que puede tener anchos de 0,01, 0,02 y 0,03 metros para las diferentes distancias por medio de tablillas. Delante se pone un cristal deslustrado y la luz se produce por un doble mechero de acetilino y generador de éste. Una vez colocada la mira, se mide el ángulo de éste y Pecauvé haciendo seis lecturas, tres con el anteojo á la derecha y otras tres con el anteojo á la izquierda, y si la media de las seis da el ángulo $293^{\circ} 32,50$, se considera el punto definitivo. Si no sucede esto se mueve la mira en el sentido conveniente, y se repite de nuevo la operación hasta obtener el resultado deseado. Entonces se lee en la reglilla la división que coincide con el índice y se anota.

Se hace lo mismo con todos los vértices visibles y se anotan las lecturas igualmente. Tomando la media de lecturas en la reglilla, se hace por medio del tornillo coincidir el índice con ésta, y por medio de la plomada se fija el punto definitivo en el suelo. Para ello se coloca una losa de piedra mamposteada y en ésta una referencia de latón, con una cruz muy fina; se tapa después con una chapa de hierro y se rellena el hueco que ha sido necesario hacer con escombros.

Las órdenes deben darse por medio del teléfono. Se ensayaron diversos medios acústicos y luminosos, que daban lugar á muchas confusiones.

Otro punto fijo se colocó á 1.300 metros. La operación se hacía colocando sobre el pilar de dirección una mira luminosa, sobre el punto determinado anteriormente á la distancia 600, el tripode descrito y el aparato, y en el punto 1.300 otro tripode igual con mira luminosa. Visando la señal colocada en el pilar de dirección, se fijaba por inversión del anteojo la posición que debía tener la mira luminosa á 1.300 metros. Se hacía ocho veces, cuatro con el anteojo á la derecha y cuatro con el anteojo á la izquierda y se tomaba la media.

Para esta clase de trabajos es preciso ejecutarlos de noche, pues de día no se ven desde el pilar de dirección

las señales luminosas colocadas dentro del túnel. Es preciso, además, que la atmósfera de la galería esté muy despejada, para lo cual conviene suspender el trabajo de perforación doce horas antes y ventilar activamente.

El punto que quiera colocarse con exactitud debe estar, á ser posible, en sitio firme y donde no haya agua estancada, pues se producen por reflexión imágenes luminosas, que pueden dar lugar á grandes errores, como ha sucedido recientemente.

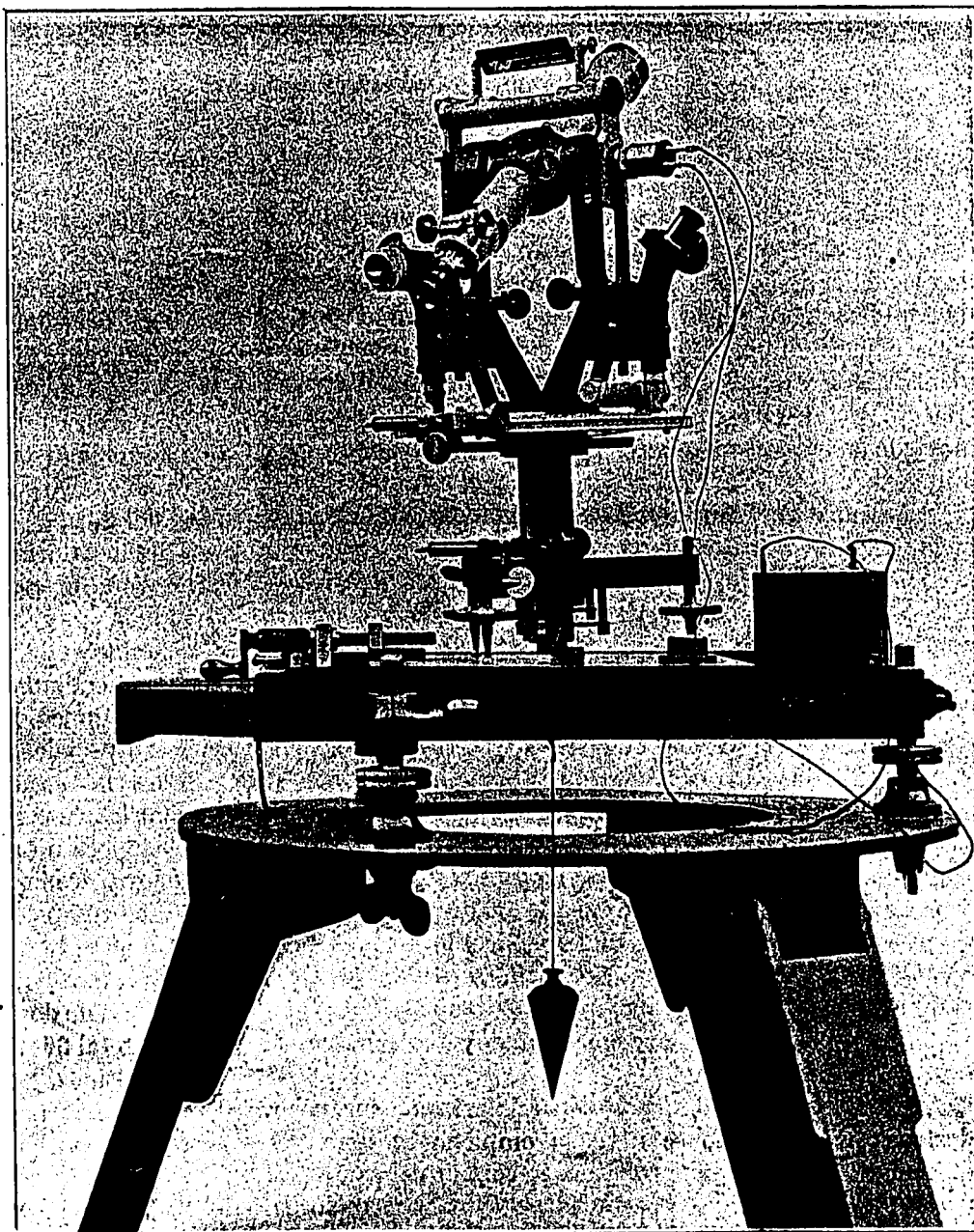
La operación dura, por lo menos, una noche.

Los puntos provisionales se determinan cada 50 metros con un teodolito ordinario y se fijan en el techo de la galería por medio de tacos de madera en los que se introducen clavos. Cada diez metros se señalan otros puntos deducidos de éstos.

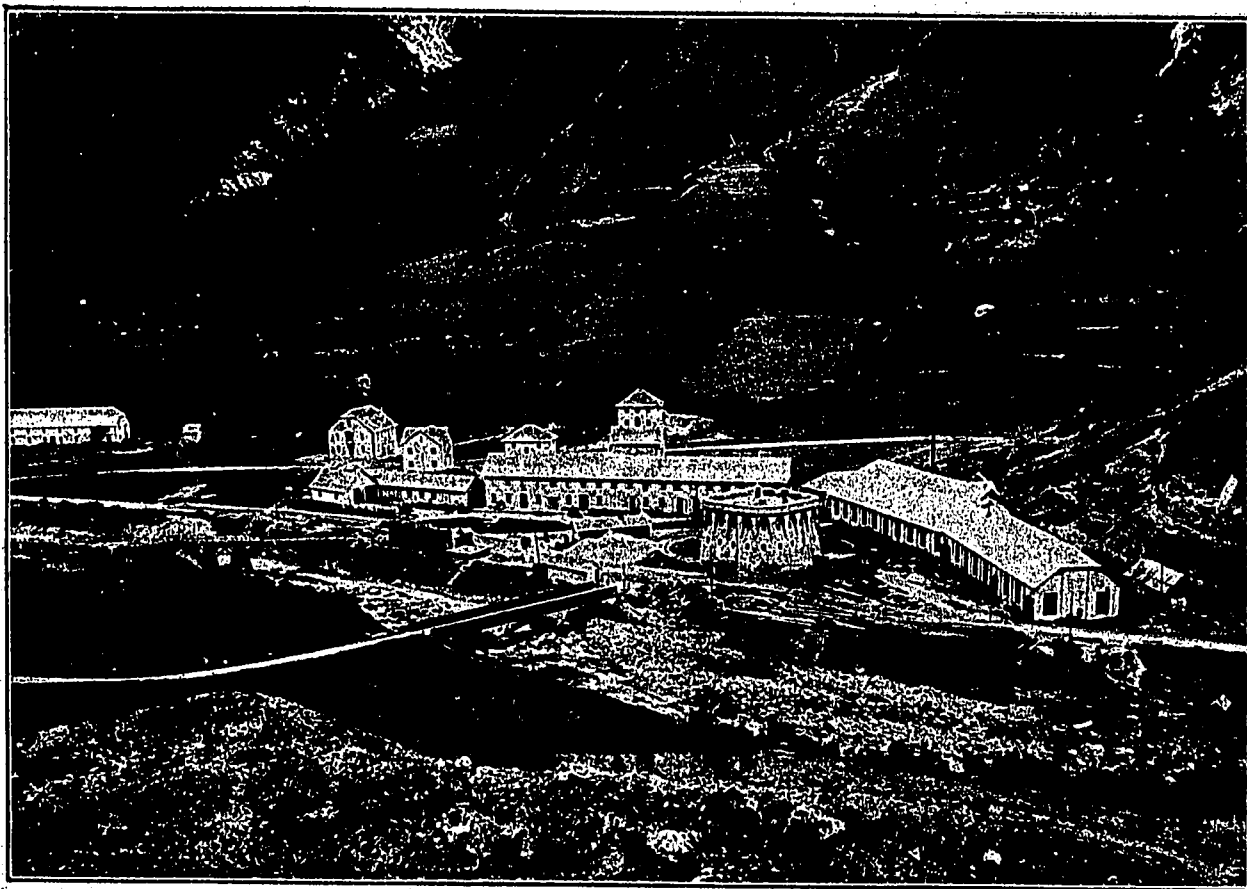
Para dirigir el avance se toman dos puntos anteriores y se atan cuerdas á los clavos. Con estas dos cuerdas que se iluminan colocando inmediatas lámparas, se determina la alineación.

La nivelación de la galería se hace una vez por mes con precisión y se fijan cada 100 metros puntos de nivel.

La medición se hace con reglas de 5 metros.



El teodolito de precisión instalado sobre el trípode en la galería,



Vista general de las instalaciones.

INSTALACIONES

En el proyecto de la sección española del túnel internacional de Somport se fijaba un plazo de cuatro años para la ejecución de la obra, y concediéndose ocho meses desde la adjudicación definitiva, para hacer las instalaciones, se prescribía la obligación de ejecutar 100 metros mensuales de túnel. Se exigía asimismo que se enviasen al avance 150 m.³ de aire fresco por minuto. Veamos las instalaciones que ha sido preciso hacer para cumplir las condiciones impuestas.

El avance medio mensual de 100 metros no puede obtenerse sino haciendo diariamente de 4 á 5 metros. El número de días aprovechable por mes oscila entre veintiséis y veintiocho, suponiendo en media veintisiete, y contando que por averías en la maquinaria, encuentro de agua en el avance, etc., se pierda algún tiempo que, repartido en los diversos meses, represente tres días, vienen á quedar como aprovechables veinticuatro días por mes. Esto sin contar con dificultades excepcionales, cuyo caso está previsto en el pliego de condiciones que sirvió de base á la subasta. Dada la naturaleza de las rocas que se presume encontrarán en la perforación, se necesita, para hacer de 4 á 5 metros diarios de avance, colocar en éste, cuatro perforadoras, de un consumo de aire comprimido por minuto muy próximo á 4 m.³. Contando con las pérdidas inevitables en la conducción, se puede calcular que en el avance se necesitará tener un volumen de aire comprimido á 7 atmósferas de unos 18 m.³ por minuto.

Para poder hacer de 4 á 5 metros diarios de ensanche, destroza y acueducto se necesita emplear 12 martillos neumáticos y contando con que consumen 1 m.³ de aire á 7 atmósferas, y con las pérdidas en este caso mayores, por el gran número de tuberías necesarias, se puede contar con un consumo de 16 m.³ de aire comprimido.

Es decir, que en total se necesita producir 34 m.³ de aire comprimido por minuto. Esto se consigue por medio de dos compresores, que consumen cada uno 125 HP. y que dan 40 m.³ entre los dos, para prever la necesidad de emplear algún martillo más y consentir el empleo de aparatos neumáticos para elevación de los materiales de construcción de la bóveda.

El enviar 150 m.³ de aire fresco al avance exige, suponiendo que la tubería de conducción tenga 0,60 metros de diámetro,

el empleo de dos ventiladores en serie que consumen 100 HP. Claro es que esto será cuando la galería tenga una longitud superior á 3 kilómetros, pero debe disponerse desde luego.

Estas tuberías, que no tienen que resistir sino á una pequeña presión, se hacen por economía de plancha muy delgada y, por tanto, se rompe fácilmente, dando lugar á muchas pérdidas.

Además, en la ventilación de la galería superior hay que adoptar disposiciones especiales, que dan lugar á muchas curvas y, por consiguiente, á grandes resistencias al paso del aire.

Una instalación de perforación mecánica en gran escala necesita imprescindiblemente un taller de reparaciones, porque las piezas de recambio son exageradamente caras. Se disminuye de este modo el gasto que trae consigo la perforación, aunque todas las piezas no puedan hacerse, porque algunas que necesitan tener gran dureza son de aceros especiales.

Para la ejecución de los revestimientos fué preciso adoptar la arena artificial, pues no había natural. Además, empleándose un gran volumen de piedra partida en hormigones y drenes, era necesario instalar maquinaria que fabricase ambos elementos.

Con arreglo á la cantidad que se necesitaba para hacer de 4 á 5 metros diarios de revestimiento, era preciso la instalación de dos machacadoras y una arenera que consumen en total 60 HP.

Por último, para el alumbrado eléctrico de talleres y demás dependencias se estimaron necesarios 20 HP.

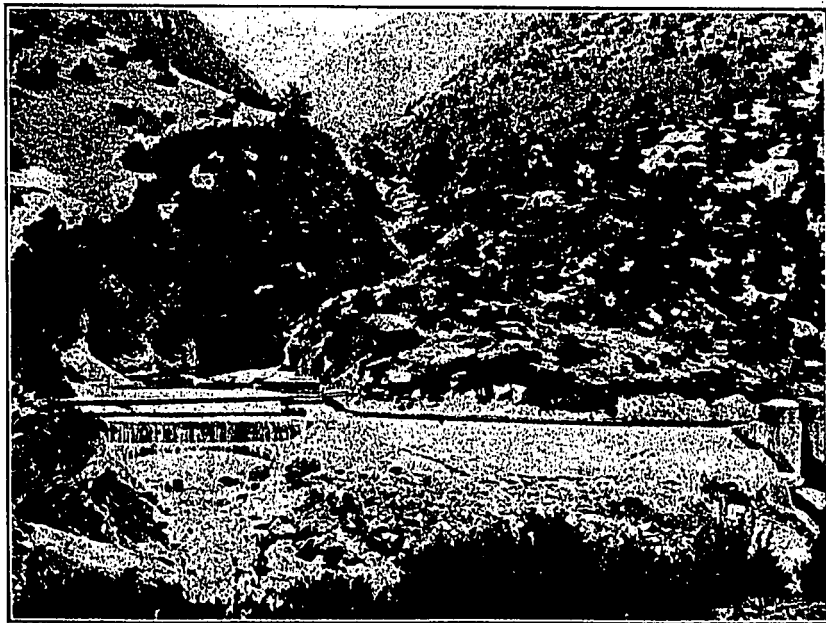
No se pensaba en otro medio de tracción que el de vapor, pues la tracción eléctrica hubiese consumido mucha fuerza, de que era muy difícil disponer.

En resumen, la fuerza que se consideraba necesaria era:

Para perforación mecánica	250 HP
» ventilación	100 »
» talleres	20 »
» machaqueo y fabricación de arena	60 »
» alumbrado	20 »
Total	450 HP

Esta fuerza se obtiene parte por un salto de agua tomada del río Aragón por una pequeña presa de fábrica. En el transcurso del canal se toma agua del barranco de Izás. El gasto del río Aragón es muy variable, reduciéndose el volumen en los estiajes considerablemente. Se toma un volumen de 1 m.³ por segundo, que en los estiajes queda reducido á menos de la mitad.

El canal tiene 1.300 metros de longitud y el salto 49 metros de altura. Las turbinas son centrípetas, de aspiración y en número de tres, dos de 150 HP y una de 175 HP.



Presa en el Izás y unión con el Canal.



Acueducto del Canal.

que lo conducen al túnel. En el origen del trayecto hay cuatro depósitos, de 4 m.³ de capacidad cada uno, que hacen efecto regulador y que es asimismo donde se descargá en gran parte el aire de los aceites que lleva en suspensión y proceden de los empleados para lubricar los compresores.

En la sala central está el motor de gas pobre por aspiración de 200 HP. Es del tipo de dos cilindros gemelos, con distribución solidaria Sulzer. El arranque se hace por aire comprimido. En el anejo está el gasógeno con el lavador y reparador.

En la sala de la derecha se ha colocado la semifija Lanz de 60 HP y la turbina de 175 HT. Estas accionan una dinamo de 40 kilovatios y dos ventiladores en serie.

Para la recomposición de perforadoras, martillos, etc., hay un taller que comprende: torno, taladro, fresa, afiladora y varios tornillos.

Para la preparación de madera de entibaciones, construcción de vagones, etc., hay otro taller con sierras de cinta y circular.

Para reserva en caso de estiajes hay un motor de gas de 200 HP y una semifija de 60 HP.

En la figura 9 bis está representado el conjunto de la casa de máquinas.

Un árbol de transmisión general sirve para poner en marcha el conjunto. Este árbol está dividido en trozos con acoplamientos de fricción, de modo que en un momento determinado puede engancharse el motor que sea necesario. El movimiento se transmite por correas de cuero al cromo, armado.

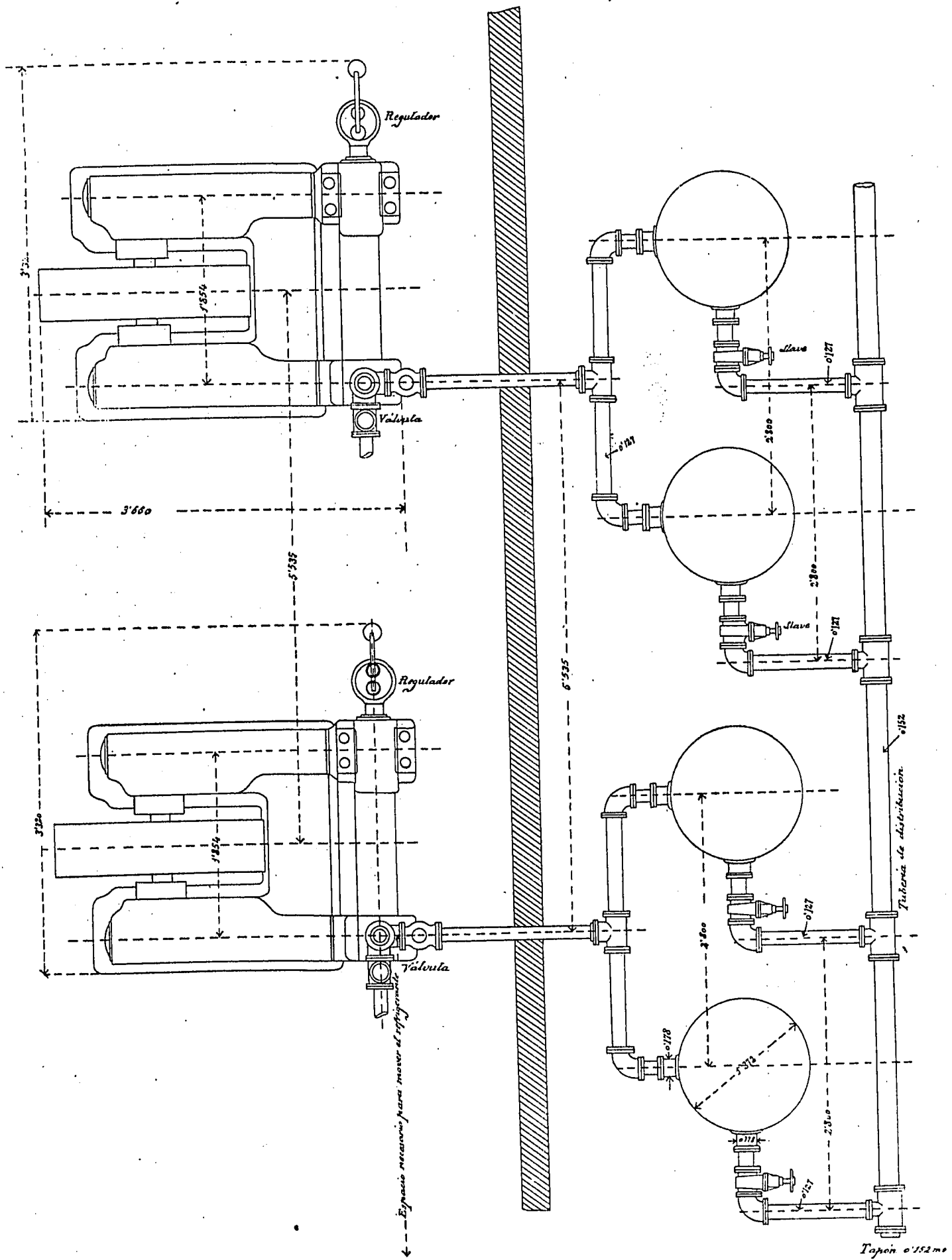
La sala de la izquierda está destinada exclusivamente á la producción de aire comprimido. Dos turbinas de 150 H ponen en movimiento, por intermedio de la transmisión, dos compresores Ingersoll tipo Imperial B, de 125 HP cada uno. La compresión se hace en dos fases; en un cilindro se comprime el aire á 4 atmósferas y pasa por intermedio de un refrigerante de superficie á otro cilindro, donde se termina la compresión á 7 atmósferas.

De los compresores pasa el aire á las tuberías

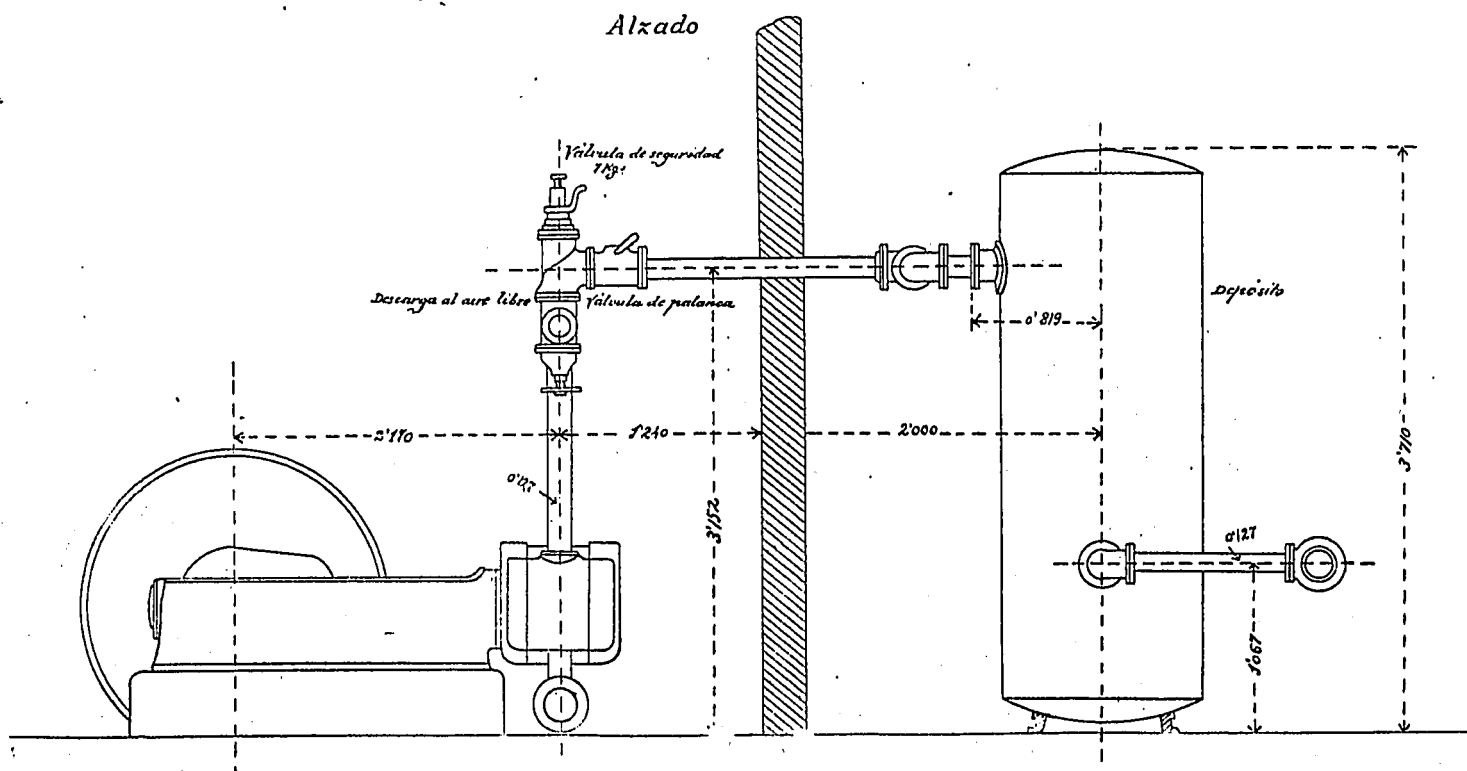


Presa y aliviadero en el Aragón.

Planta

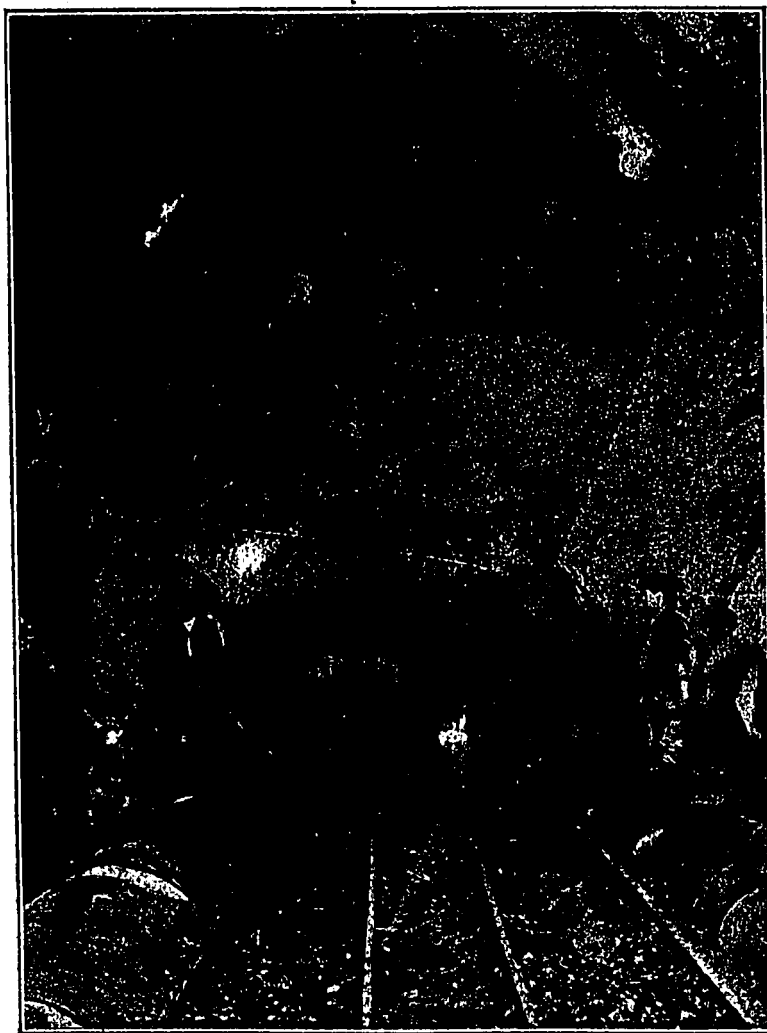


Instalación del aire comprimido para la perforación.

Instalación del aire comprimido para la perforación

de transporte queda desde luego en su posición definitiva, así como las tuberías de aire comprimido y ventilación; la estabilidad de estos elementos es de una gran importancia. Para los transportes está generalmente expedita la galería inferior, y excepto el material procedente de la destroza y acueducto, lo demás, esto es, el correspondiente á galería superior, ensanches y destrozas, se carga por la gravedad, arrojándolo por las chimeneas á la galería inferior, donde están los vagones preparados. Este método es susceptible de poderse imprimir una gran actividad y concentración en los trabajos, cosas ambas muy importantes, y puede hacerse porque se pueden tener muchos puntos de ataque y próximos. En esta forma se han atacado la mayor parte de los túneles de gran importancia, en que se ha empleado la perforación mecánica en grande escala (Arlberg, Simplón, etc.), excepto el túnel de San Gotardo, y es sabido que en éste dió origen el método belga á muchas dificultades en los transportes, además del que como sólo se disponía de un punto de ataque, se retrasó mucho la terminación de la obra, que fué

económicamente un desastro. El método austriaco tiene también varios inconvenientes, entre los cuales los mayores son: ser muy caro, pues hay que perforar dos galerías de avance, y que la ventilación en la galería superior es muy difícil.



Galerías de avance y ensanches.

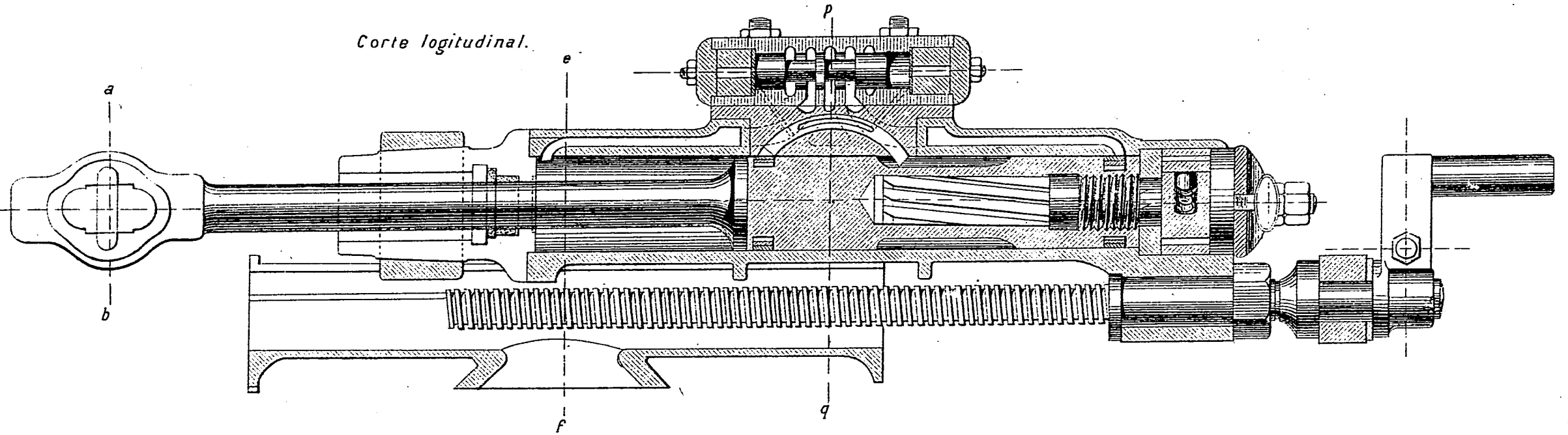
Hasta los 1.300 metros se ha aplicado en la boca Sur del túnel internacional de Somport, el método austriaco; pero en vista del coste tan elevado á que resulta el m³ de excavación, se va á ensayar el método belga, no en su forma ordinaria, que según ha sancionado la experiencia da peores resultados que el austriaco, sino suprimiendo las rampas entre los diversos pisos por el empleo de medios muy potentes de carga eléctricos, y que en su disposición general es muy análoga á la de las excavadoras para terrenos consistentes.

Este método se ha empleado en los Estados Unidos con buen resultado; pero en Europa creo que será esta la primera aplicación que se haga. Más adelante lo describiré detalladamente.

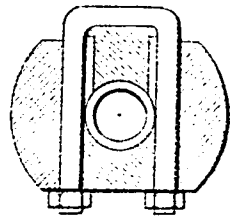
Perforadoras y martillos.—Las perforadoras son Ingersoll-Rand, tipo D-24.

PERFORADORA INGERSOLL-RAND
DE AIRE COMPRIMIDO TIPO: 24

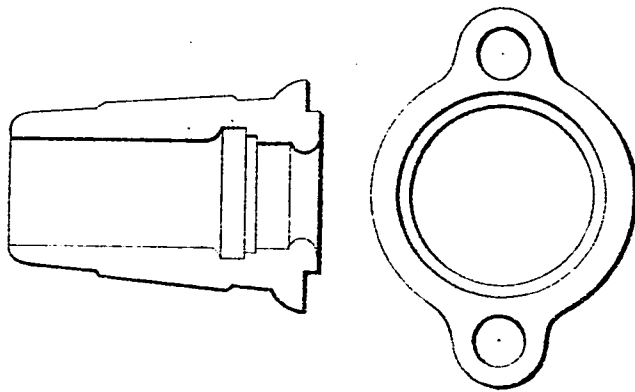
Corte logitudinal.



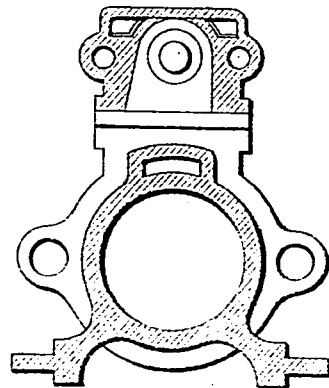
Corte por-a b-



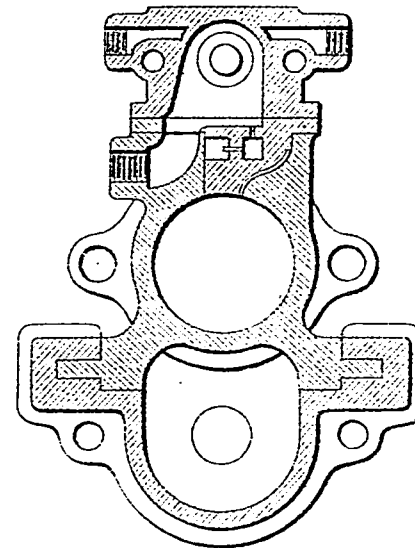
Detalle de la Cabeza.



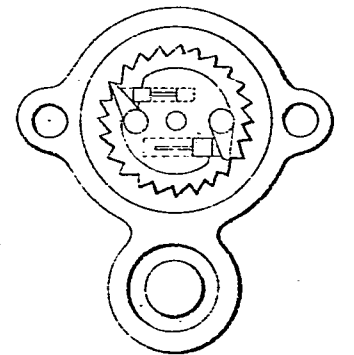
Corte por-e f-



Corte por-p q-



Detalle de la rotación.



La perforadora (lámina 2.^a) tiene tres movimientos: percusión del útil, rotación del mismo y avance del cilindro con el útil. Los dos primeros movimientos se producen por el aire comprimido, y el tercero á mano. La perforadora consta de un cilindro, que puede tener movimiento de translación con relación á su soporte por medio de un mecanismo de tuerca y tornillo. De este modo montada la perforadora sobre su ajuste ó columna, se puede llevar por medio del tornillo hasta que el útil esté á la distancia requerida para la perforación.

Dentro del cilindro hay un émbolo que se prolonga en su parte anterior por un vástago al cual se une el florete. El movimiento de percusión del florete se verifica entrando el aire comprimido á la caja de distribución, en la cual hay un pequeño émbolo de tres cuerpos, destinado á producir automáticamente la distribución por medio de los conductos que se ven en la figura. En la posición indicada está la parte anterior del cilindro en comunicación con el escape y la posterior con la admisión. El movimiento de rotación del útil se obtiene porque la parte posterior del émbolo tiene tres ranuras helicoidales que encajan en tres botones que lleva una pieza unida al cilindro por intermedio de un trinquete. Al retroceder el émbolo, tiene que girar el trinquete en el sentido que le permitan las uñas indicadas en la figura.

MARTILLO VALVELERS

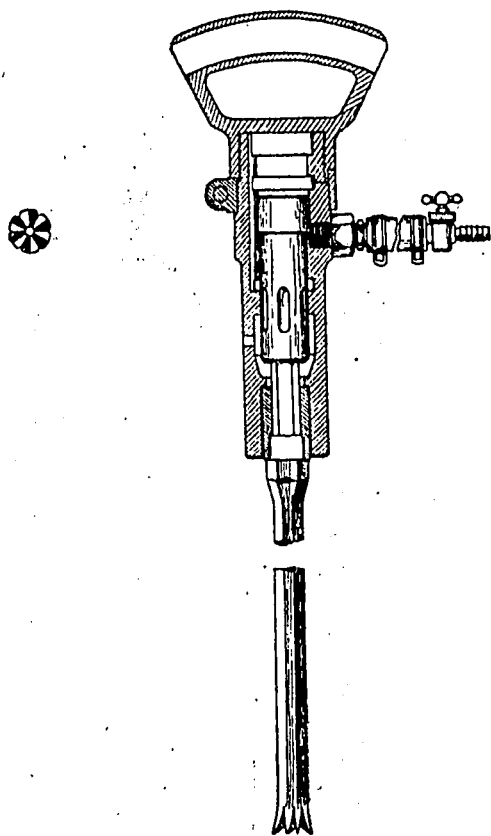


Fig. 11.

La perforadora, [modelo Ingersoll D-24, da unos 300 golpes por minuto, y consume en este tiempo de 3 á 4 m³ de aire á 7 atmósferas.

Martillos pneumáticos.—Se han empleado cuatro modelos: Ingersoll Valvelers, Ingersoll de rotación, Flottman

de rotación y Glaenzer. Los que han dado resultados más satisfactorios han sido los Flottman de rotación y los Ingersoll de avance automático.

Las figuras 11 y 12 representan dos martillos Ingersoll, uno de percusión y otro de rotación.

MARTILLO ROTATORIO.

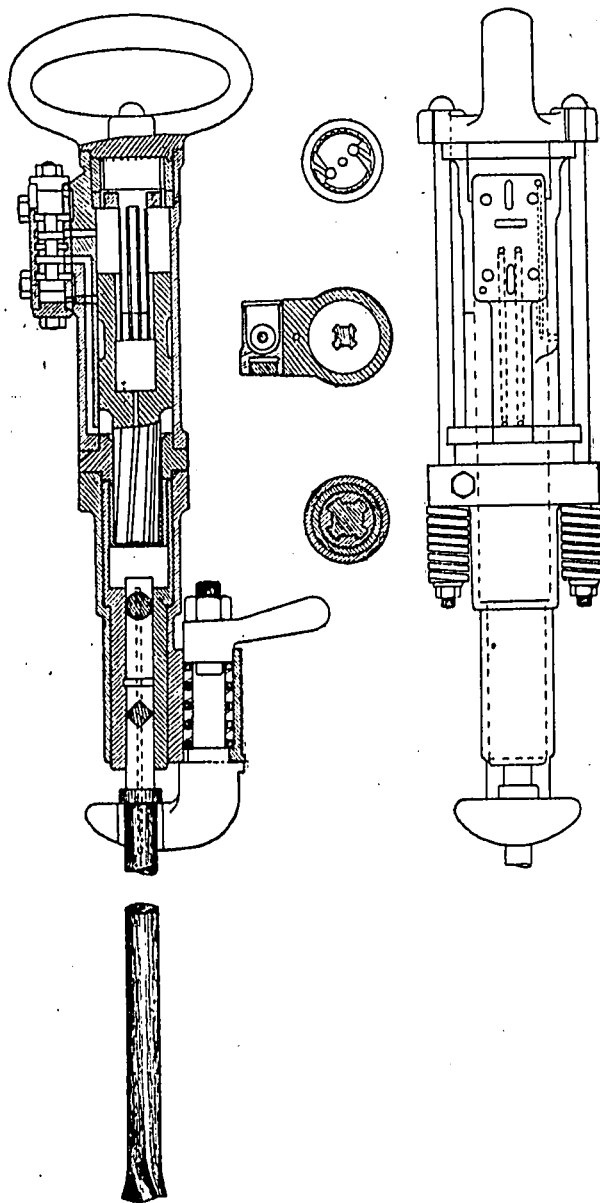


Fig. 12.

El de la figura 11 funciona sin válvulas; la distribución se hace por el mismo émbolo, para lo cual hay practicadas en éste y el cilindro, ranuras especiales.

En la posición del émbolo indicada en la figura, éste empieza á poner el aire comprimido en comunicación con el escape, y, por consiguiente, al cesar la presión en la cara posterior del émbolo, éste retrocede por la acción del aire sobre el retallo que separa sus dos cuerpos.

El de la figura 12 funciona próximamente como una perforadora.

Los floretes están indicados también en las figuras, siendo de advertir que tiene en su eje un conducto para escape del polvo que se produce en la perforación.

Los martillos de avance automático tienen un funcio-

namiento igual al de los Valvelers, pero el escape no se hace al aire libre, sino á un cilindro con un émbolo colocado en la parte inferior. Este segundo émbolo está unido al primer cilindro de modo que siempre está aplicado el florete contra la roca.

Se usan para tiros verticales y la rotación del florete se hace á mano por una maneta.

El número de percusiones por minuto de los martillos oscila entre 650 y 900.

El consumo de aire comprimido por minuto varía de 400 á 1.000 litros.

La longitud de barreno que hacen es muy variable, según la naturaleza de la roca. Se puede tomar como medio 0,10 metros en caliza y 0,18 metros en esquisto por minuto.

Los martillos pueden manejarse por un solo operario, pero en la mayor parte de los casos lo hacen dos: uno que sostiene el cuerpo del martillo, y otro que dirige los floretes y los cambia cuando hay necesidad.

El inconveniente principal de estos útiles es que producen mucho polvo y no puede evitarse introduciendo agua, porque forma entonces pasta y obstruye el conducto interior de los floretes. Para hacer barrenos bajo el agua solamente se puede emplear los rotatorios.

En atención al trabajo tan rudo que tienen que hacer los martillos, están constituidos de piezas muy robustas, pero aun así se rompen muchas de éstas, y como no se pueden fabricar en obra, hay que comprarlas á las casas constructoras que cobran precios exagerados.

Por esto principalmente la perforación mecánica es muy cara, pues el gasto de adquisición de los útiles no es grande, pero las piezas de recambio lo son mucho y se tienen que cambiar con gran frecuencia.

Tubería para el aire comprimido.—Es de fundición de 0,175 metros de diámetro y de 0,006 metros de grueso. Las juntas se hacen por bridas y tornillos, poniendo placas de bronce intermedias. En las placas de bronce hay rebajos para la colocación de gomas de sección circular. Con este sistema de juntas las pérdidas son muy pequeñas.

Cada 100 metros se colocan piezas especiales destinadas á tomas de aire para martillos. Las tomas se hacen por tubos de hierro de $\frac{3}{4}$ de pulgada. La unión al martillo se hace con tubería de caucho.

Galería de avance.—Como queda dicho, hasta los 1.300 metros la galería de avance estaba colocada en la parte inferior de la sección. Se empezó en 1.º de Enero de 1909, á mano, para no perder tiempo mientras se hacían las instalaciones de producción de fuerza. Se empezó en la galería en el centro de $2 \times 2,20$ metros de sección y dos parejas de barrenos, así se continuó 30 metros, pero viendo que se perdía mucho tiempo para dar lugar á que se despejase el humo de los disparos, se colocó una tubería de ventilación de 0,40 metros de diámetro, con un ventilador centrífugo de 12 HP, accionado por una locomóvil, y fué preciso ensanchar la galería dándola $2,60 \times 2,20$ metros, y se colocaron tres parejas de mineros. La perforación á mano duró hasta el 17 de Junio del mismo año en que se empezó la electro-pneumática.

El resumen de este trabajo es:

Días útiles, 157.

Roca encontrada, caliza gris metamórfica.

Avance medio diario, 1,02 metros, trabajando día y noche.

Explosiones diarias, 4.

Número medio de barrenos, 9. Tres coronas, tres chulanas y tres zapateras.

Longitud media de los barrenos, 0,65 metros.

Consumo de dinamita goma (65 % de nitroglicerina) por m.³ de excavación de la galería:

Máximo, 4,40 kilogramos.

Medio, 3,35 kilogramos.

Se observa que el consumo de dinamita fué muy fuerte, cosa que no extrañará si se nota que siendo la longitud media de los barrenos 0,65 y haciendo 4 pegas diarias, apenas se aprovechaban la mitad de barrenos, parte por su oblicuidad, parte porque siempre quedaban grandes colas, y aunque se ensayó aumentar el número de barrenos y la carga de explosivo, sólo se consiguió elevar la cifra del consumo de éste, sin ventaja apreciable para el avance.

Perforación electro-pneumática.

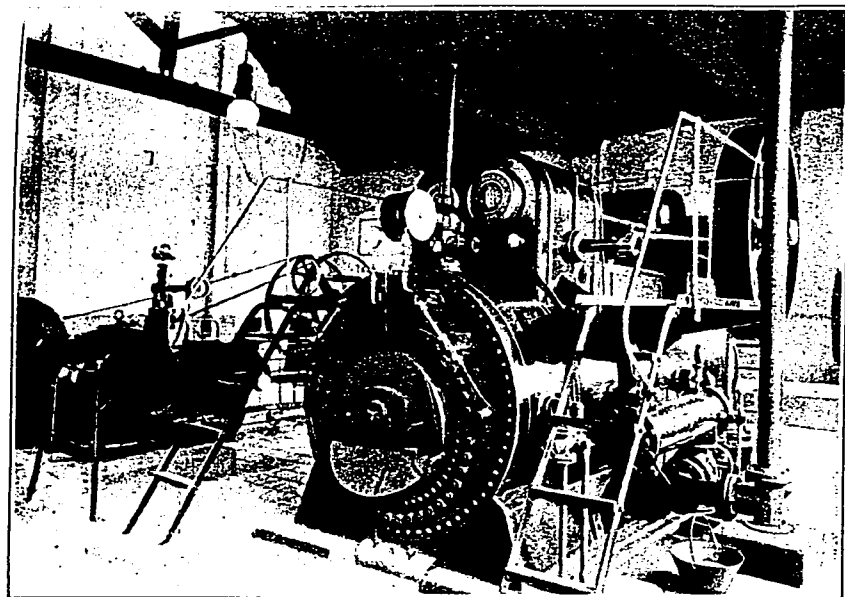
En 17 de Junio de 1909 quedó instalada una máquina de vapor semifija, de 60 HP, y ésta accionaba una dinamo de 40 kilovatios. Con esto se pudo emprender la perforación mecánica.

La corriente producida por la dinamo se conducía por un cable al avance. En él se instalaban las perforadoras electro-pneumáticas, que consisten en una perforadora ordinaria de aire comprimido, pero producido éste en el avance mismo por medio de dos pulsadores, uno por perforadora, accionado por un motor eléctrico, con arrollamiento compound. Los pulsadores son de pequeño volumen y van montados con su motor sobre un carretón. El conjunto lo manejan cuatro obreros fácilmente.

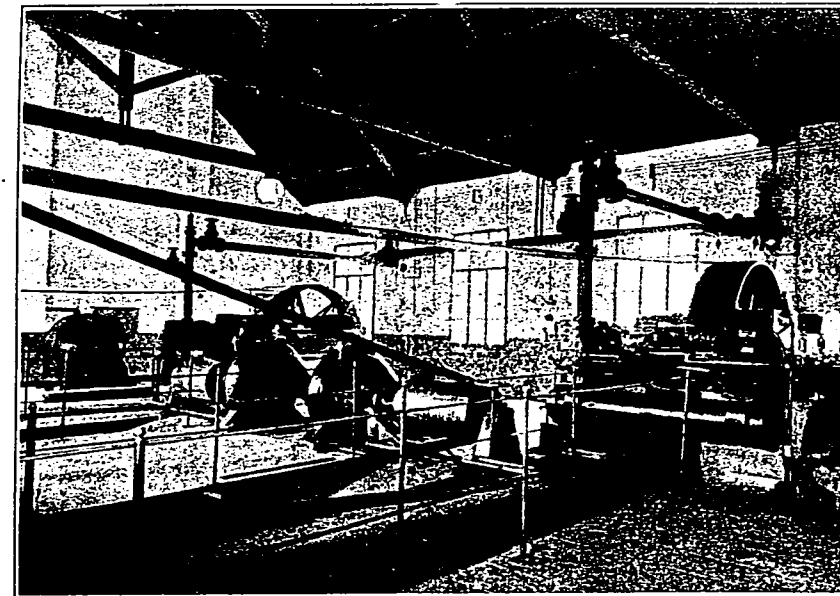
Las perforadoras se colocaban en número de dos, montadas sobre columnas. En la fotografía—que se tomó fuera del túnel para que saliese más detallada—se ve claramente la disposición de una perforadora montada sobre columna.

Las columnas se colocan á 1 metro próximamente del frente de ataque. Las perforadoras se unen á la columna por medio de piezas especiales, que permiten movimientos de giro en los sentidos horizontal y vertical. Además consiente que la perforadora se pueda colocar á cualquier altura sobre la columna. Los floretes terminan en sección de forma de cruz, de modo que presentan cuatro cortes. Se comprende que no teniendo la perforadora más latitud de movimientos en sentido de la galería que la que permite el tornillo de avance á mano y la carrera del émbolo, sea necesario tener un juego de floretes de distintas longitudes, según la profundidad de barreno que se quiera obtener. La perforación se hace del modo siguiente: empieza por colocar la perforadora en su posición más distante del frente por el tornillo de mano, el operario llamado maquinista, y otro llamado chavetero, coloca el florete más corto, apretando con una llave los tornillos de unión, que se ven en el dibujo de la perforadora.

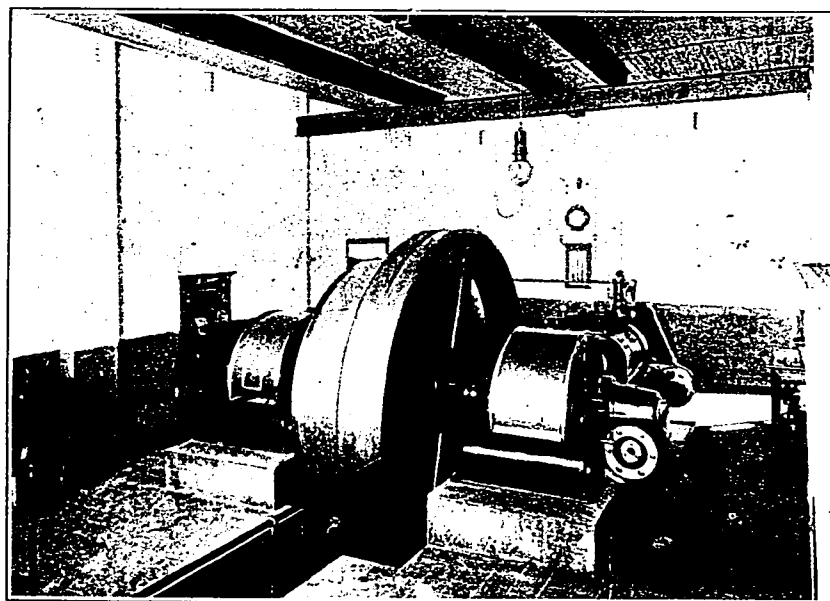
Hecho esto, el maquinista, moviendo la maneta, aproxima la perforadora al frente, hasta que el florete toque á la roca, y entonces abre la llave del aire comprimido. A medida que el florete va perforando, se mueve la maneta en el sentido conveniente para que siempre esté el florete en contacto con la roca.



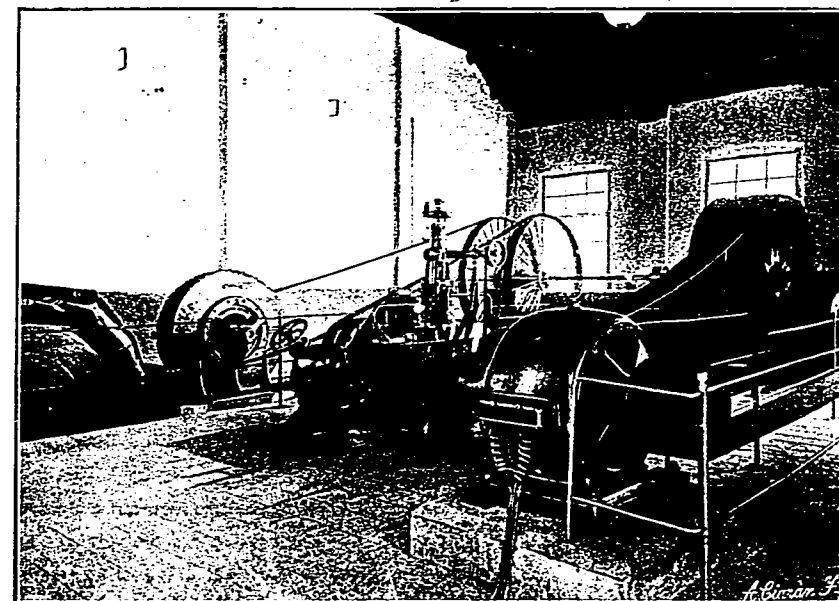
Semifija y dinamo.



Compresores y turbinas.



Motor de gas.



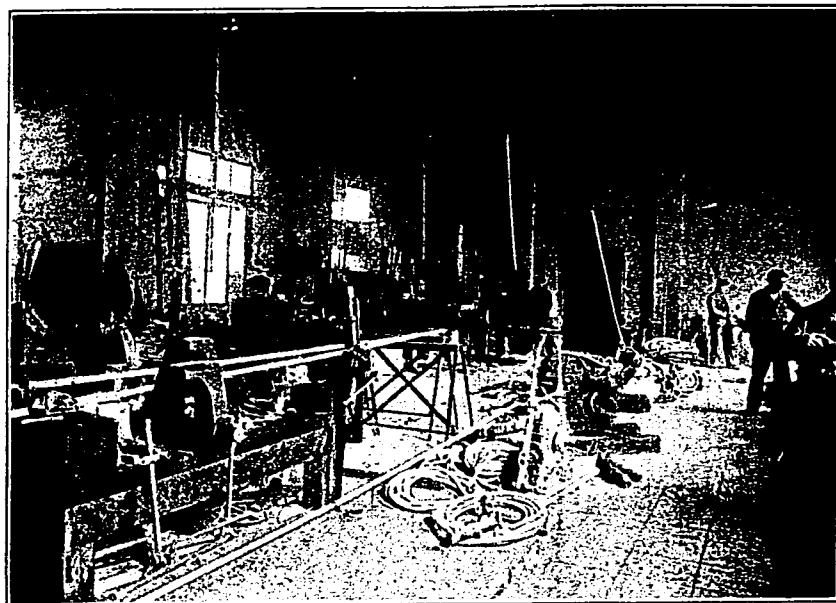
Vista parcial de la sala de producción de alumbrado y ventilación.



EL AVANCE



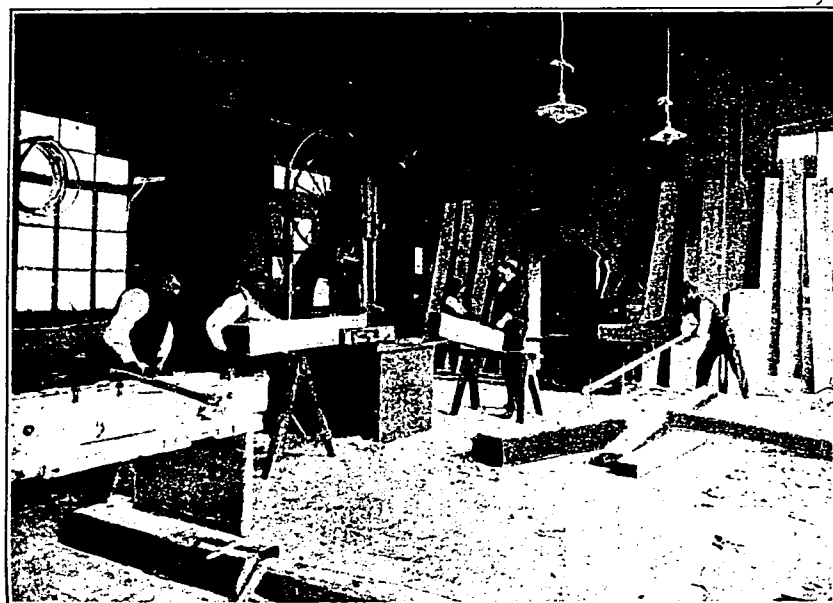
Perforación con martillos de avance automático y rotatorio.



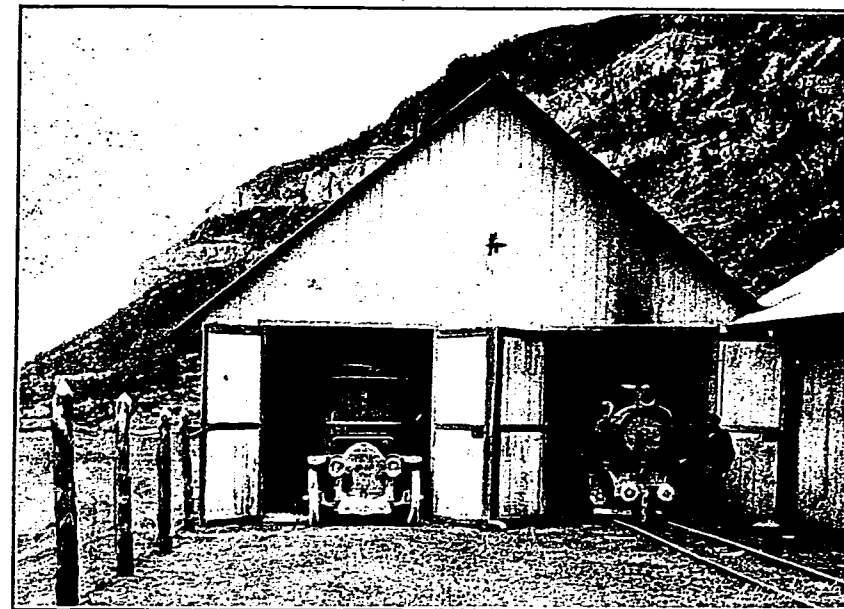
Taller de reparación de perforadoras.



Fraguas.



Taller de preparación de maderas.



Cochera de locomotoras y garage.

El chavetero se cuida de echar agua en el agujero del barreno.

Cuando llega la perforadora al extremo de su carrera, se quita el florete y se coloca otro de mayor longitud.

La longitud de los barrenos no puede exceder mucho de 2 metros, límite impuesto de una parte por el funcionamiento de la perforadora, y por otra por el efecto útil de la dinamita.

La naturaleza de la roca es lo que hay que estudiar perfectamente y haciendo muchos ensayos para determinar cómo se obtiene el mayor efecto útil variando el número de barrenos, su longitud y carga.

La galería de avance tenía una sección de $2,60 \times 2,20$ y el número de barrenos varió desde 16 á 11 y su longitud de 1,10 á 1,60 metros.

El mayor efecto-útil se obtuvo haciendo 12 barrenos en la forma indicada en la figura 15 y de una longitud media de 1,20 metros. La carga era de 30 kilogramos de dinamita goma por volada.

Respecto al orden de explosión de los barrenos se hicieron asimismo ensayos.

Al principio se hacían salir primero los tres centrales, se esperaba á que se despejase el humo y se disparaban los restantes.

Con esto se perdía mucho tiempo, y después lo que se hizo fué que la mecha de los centrales fuese más corta, pero se vió que muchos barrenos quedaban sin explotar; pues al salir los centrales cortaban las mechas. Esto se evitó introduciendo la mecha dentro del agujero del barreno.

Hecha la explosión y despejado el humo, se procedía al descombro, pero no se hacía totalmente desde luego, sino que se despejaba el frente de ataque para poder colocar las columnas y seguir la perforación, durante la cual se terminaba de descombrar.

La rapidez del avance depende en gran parte del descombro, y se han ensayado en casi todos los grandes túneles medios mecánicos de acelerarlo, hidráulicos, neumáticos, etc., pero sin resultado.

El número de explosiones diarias fué como máximo de tres, y no es de extrañar, pues se estaba en período de organización, y el personal obrero no conocía el manejo de las perforadoras.

Además había averías continuas en el cable, que, colocado en el suelo, sufría mucho con la humedad.

El resumen de la perforación electropneumática es el siguiente:

Días de trabajo útiles, 81.

Roca encontrada, caliza gris metamórfica.

Avance diario: medio, 2,04 metros; máximo, 3,55 metros.

Explosiones diarias, de 2 á 3.

Número medio de barrenos, 12.

Longitud media de los barrenos, 1,20 metros.

Consumo de dinamita goma por m.³ de excavación de la galería, 4,15 kilogramos.

Si se comparan estos datos con los de la perforación á mano, se ve que á igualdad de naturaleza de roca, el gasto de dinamita goma aumenta, y esto es lógico, pues á pesar de la latitud de movimiento que tienen las perforadoras sobre columnas verticales, nunca pueden hacerse los barrenos con la variedad de direcciones que á mano, y, por lo tanto, se aprovechan menos.

Este sistema de perforación electro-pneumática, puede dar, por lo menos, un avance diario doble que á mano, y está muy indicado para casos en que se disponga de poca fuerza, pues cada perforadora viene á consumir 7 HP. En rocas no muy duras el avance puede llegar á ser de 2,50 á 3,00 metros como media, pues el último mes que se empleó



Perforadora montada sobre columna.

dió 2,70 metros, y hubiera superado esta cifra en lo sucesivo, por el hábito que hubieran llegado á adquirir los obreros.

Perforación mecánica pneumática.

En 17 de Junio de 1909 se puso en marcha el motor de gas de 200 HP y pudo empezar la perforación mecánica definitiva.

La primera cuestión que se suscitó, fué el número de perforadoras que había de colocarse en el avance y el tipo de éstas. Provisionalmente se utilizaron las Ingersoll, tipo D-24, que se habían empleado con la perforación electro-pneumática, y posteriormente se vió que no había lugar á cambiarlas, puesto que con ellas se obtenía el avance exigido.

El número de perforadoras fué al principio de 4, montadas sobre dos columnas verticales, las perforadoras altas hacían las coronas y chulanas, y las bajas, las zapateras.

La confusión era extraordinaria y el trabajo útil, en definitiva inferior al obtenido con la perforación electro-pneumática. Viendo esto se disminuyó á tres el número de perforadoras y mejoró notablemente el resultado. Pero no se obtenía el avance prescrito y era preciso recurrir á otro medio. En el túnel de Löechnsberg, actualmente en construcción, y en la boca francesa del de Somport, se emplea un afuste que es un carretón que lleva una barra horizontal, que puede tener un movimiento de ascenso y descenso. Sobre la barra que se acuña á las paredes de la galería, van montadas cuatro perforadoras. El trabajo de per-

foración se hace bien, pero para hacer el desescombro, hay que hacerlo desde luego totalmente, para que pueda llegar al frente el afuste. Esto constituye una pérdida grande de tiempo, y para ganarlo, si se ha de hacer un avance grande, hay que producir mucho más efecto por explosión y se consigue empleando perforadoras mayores (modelo Ingersoll F-94), y, por consecuencia, con un gasto de fuerza y dinamita más elevado.

Tratando de ver si podía obtenerse el avance exigido, sin necesidad de un gasto tan fuerte, se ensayó la colocación en el frente de avance de una barra horizontal, que por medio de un fuerte tornillo, pudiera acuñarse fuertemente contra las paredes de la galería y montar sobre ella las perforadoras. Muchos inconvenientes se observaron; la barra colocada á mitad de altura, impedía que las perforadoras hicieran los tiros bajos bien, pues resultaban muy oblicuos; si se ponía más baja se hacían también con demasiada oblicuidad las coronas, y si se hacía la perforación en dos veces, colocando la barra á dos alturas sucesivas, se perdía tanto tiempo que no se hacía apenas avance. Estos inconvenientes desaparecieron colocando las perforadoras de modo que las centrales estuviesen unidas al soporte horizontal, quedando montadas y las extremas colgadas de él.

De esta manera los tiros se hacen perfectamente.

La distribución de los barrenos en el frente de ataque fué igual al adoptado en la perforación electro pneumática, en tanto que la perforación se hizo en caliza. Únicamente se hizo la variación de colocar más baja la zapateza del costado izquierdo, con objeto de que quedase una cuneta para la evacuación de las aguas que se presentasen, y de este modo se evitaba que quedase estancada el agua en el avance. Al cambiar la naturaleza de la roca que fué esquisto, arcilloso negro, se disminuyó el número de barrenos á 10 y se aumentó su longitud media á 1,60 metros.

El número de explosiones diarias varió entre cuatro y cinco. El tiempo empleado se distribuyó en la siguiente forma:

Perforación (desde que empieza á golpear el primer florete hasta que termina el último)	2 h 30'
Desescombro (desde que se empieza hasta que hay espacio suficiente para colocar el soporte de las perforadoras)	1 h 30'
Tiempo perdido. (El que tiene que transcurrir hasta que se despeja el humo, montaje de soporte y perforadoras)	1 h 30'
Total	5 h 30'

Se comprende el interés en reducir cada uno de los factores, pues con un avance grande se obtiene, naturalmente gran economía.

Estos datos son términos medios de la época en que ya estaba organizado el trabajo, pues al principio sólo podían hacerse tres explosiones diarias.

El tiempo empleado en la perforación se reduce:

1.º Empleando perforadoras de modelo grande, pues en éstas el diámetro de los floretes siendo mayor, se necesita hacer menor número de barrenos.

2.º Dando á los obreros una prima por longitud de barreno en un determinado tiempo.

El empleo de perforadoras de modelo grande, exige mucha fuerza para accionarlas y un consumo muy elevado de explosivos. En nuestro caso no compensaba el aumento de coste por fuerza y explosivos la economía de mano de

obra que pudiese resultar de su empleo, así es que se desistió de ello. Claro es que el avance que se trataba de obtener, 4 metros diarios como media, no era muy elevado con la naturaleza de la roca encontrada, así es que no precisaba; pero si se hubiese querido tener un avance mayor, hubiese sido indispensable. Con este modelo grande de perforadoras y haciendo barrenos de longitud media de 2 metros, se obtienen en la boca Norte del túnel de Lœchtsberg avances de 9,80 metros diarios.

La prima por longitud de barreno en un tiempo determinado reduce la duración de la perforación; pero tiene el inconveniente de que el personal empleado en el desescombro, no está interesado, y para hacerlo, se siguió el método de dar una prima por cada metro que se avanzase sobre tres fijados como jornal. Esta prima era igual para todos y de un céntimo por centímetro.

El tiempo empleado en el desescombro, se llegó á hacer pequeño, utilizando unos á modo de cojedores de plancha con dos asas. Apenas estaba limpio de humo el avance, los obreros llenaban con rastrillos los cojedores y éstos se transportaban con obreros en cadena hasta el vagón. De emplear las palas á los cojedores, hay una diferencia de tiempo más del doble.

El tiempo perdido se redujo abriendo antes de la explosión la llave del aire comprimido, y de este modo se despeja el humo en seguida.

El personal necesario para el avance es por relevo.

Un capataz.

Cuatro maquinistas.

Cuatro chaveteros.

Ocho escombreros.

Un pinche.

Se hacen tres relevos diarios.

El capataz, que debe escogerse entre los mejores, debe antes de empezar la perforación señalar el eje de la galería. Asegurarse de que todo el material de perforadoras está en buen estado y de que hay dos perforadoras de recambio y el número suficiente, á su entender, de floretes. Tiene que hacer colocar carriles hasta que la vía esté próxima al avance. Asimismo debe señalar los barrenos.

Está encargado de la dinamita, de cuya caja tiene la llave, y es responsable de que no se extravíen cartuchos. Verificada la explosión ha de procurar recoger los cartuchos que no hayan explotado, y para ello hacer que el escombro se remueva con las debidas precauciones, y, por último, asegurarse de que no han quedado en los barrenos cartuchos. Esta comprobación la hace asimismo el primer maquinista y es de la mayor importancia, pues ha sucedido en muchos túneles que encontrando el florete un cartucho, lo hace explotar, originando numerosas desgracias.

Es, como se comprende, muy importante el papel del capataz, y sólo en casos de dificultades, como encuentro de agua ó terrenos inconsistentes, avisa al Jefe de relevo para que dé disposiciones. El jornal del capataz es de 8 pesetas, y tiene una prima por avance doble que los obreros.

Los maquinistas y chaveteros se eligen entre los obreros más inteligentes, y es tan sencillo el manejo de las perforadoras que en seguida lo aprenden.

Transporte.—El transporte de escombros se hace en vagones de 1,50 m.³ de capacidad sobre vía de 0,70 metros y 32 kilogramos de peso por m.³ Los obreros empujan los

vagones, pues se desistió del empleo de caballerías en la galería de avance porque se inutilizaron varias en poco tiempo. Los vagones se llevan á un cambio existente cada 100 metros en ensanches de la galería, esperando la hora de llegada del tren regular.

Resultado de la perforación pneumática.—El avance obtenido ha sido: medio diario, 4,16 metros; máximo, 7,80 metros.

El consumo de dinamita por m.³ de excavación en la galería de avance: medio, 4,36 kilogramos; máximo, 8,16 kilogramos.

Roca encontrada: caliza metamórfica, esquisto arcilloso negro.

Explosiones diarias, de 4 á 5.

Número de barrenos: en caliza, 12; en esquisto, 10.

Longitud media de los barrenos, 1,60 metros.

Avance superior y chimeneas.—Perforada la galería de avance, se abren cada 50 metros chimeneas por medio de martillos de avance automático, llamados por los obreros escopetas, y se ataca el avance superior en los dos sentidos. Al principio se utilizaron perforadoras montadas sobre columnas, pero después se sustituyó con martillos rotatorios.

Esto tiene la ventaja de que como los martillos no necesitan columna se procede mucho más rápidamente. Por término medio se hacen cinco ataques á la vez, y el personal se compone de un capataz para todos y dos perforadores y un escombrero por ataque.

Se procura que la galería superior sea lo más económica posible, y con este objeto se subordina la rapidez al menor coste, y como hay varios ataques, puede hacerse un avance pequeño en cada vaso, y, sin embargo, obtener en total tanto como en la galería inferior.

La sección es de $2 \times 2,20$ metros, y siempre que se puede reducir se hace.

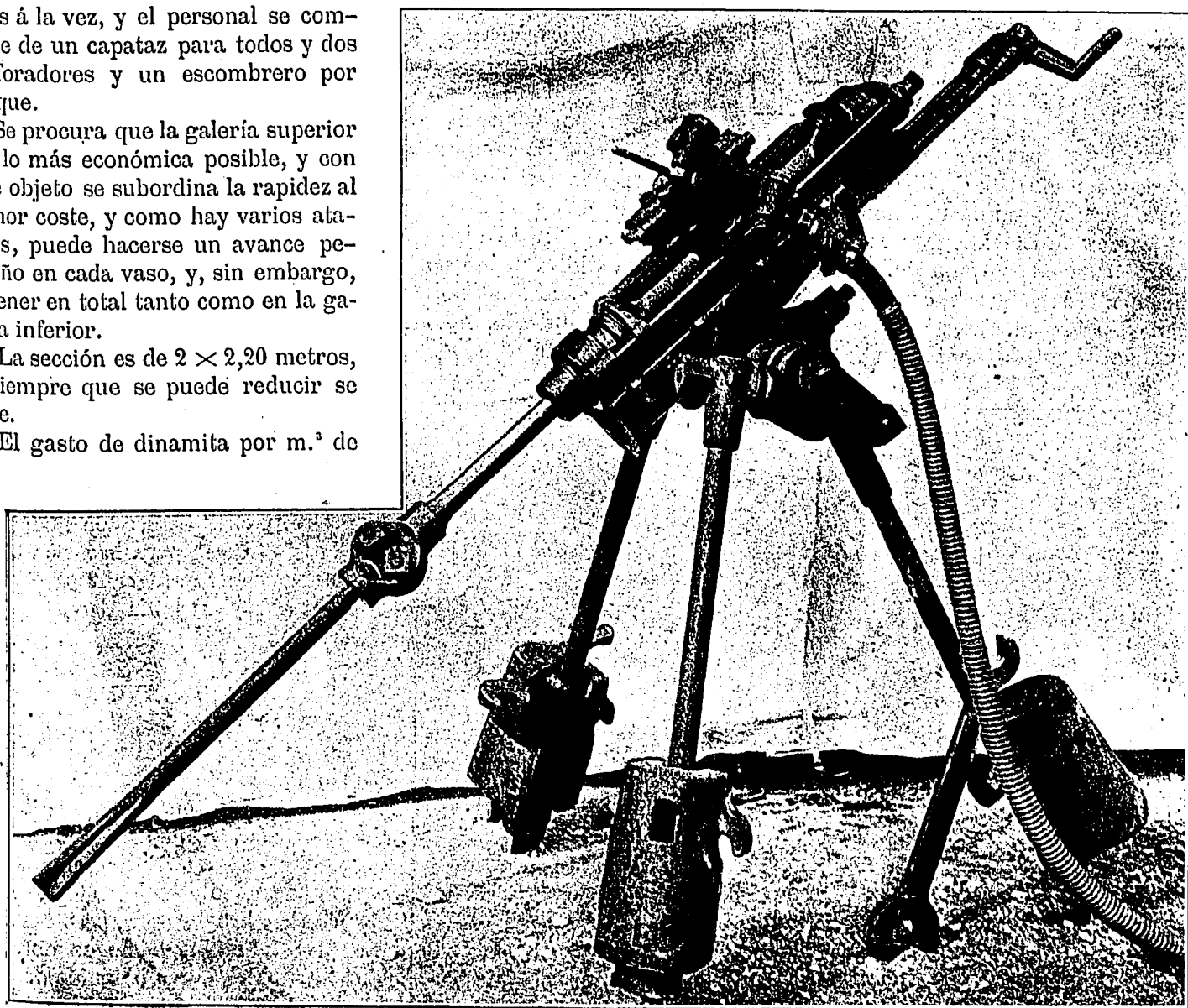
El gasto de dinamita por m.³ de

excavación ha resultado algo inferior al que exige la galería de avance.

El desescombro se hace por las chimeneas á vagones colocados bajo ellas, pero si hay mucha distancia entre el frente y la chimenea se practican agujeros en el diafragma que separa las galerías.

Ensanche de la galería superior.—Los ensanches se hacen con martillos rotatorios y de avance automático. Después de las galerías, esta parte es la que consume más dinamita por m.³, debido á que hay que hacer muchos barrenos y pequeños para dar la forma del casquete. El consumo por m.³ de explosivos en caliza ha resultado de cerca de 3 kilogramos y en esquisto de 2,20 kilogramos. El transporte del escombro se hace por las chimeneas y pocetas á la galería inferior.

Destroceta.—Se denomina así la parte comprendida entre los destrozos y los arranques. Para un espesor de revestimiento de 0,40 metros, sólo quedan 0,70 metros para el espesor de la destroceta, y se comprende el precio tan elevado á que tiene que resultar. Como por otra parte es necesaria, pues hay que dar la forma á la bóveda hasta los arranques, no puede prescindirse de hacerla. Se emplean martillos, Valvelers y rotatorios. El transporte del escombro se hace parte por la galería inferior, parte se deja hasta que al tirar la destroza cae con ella.

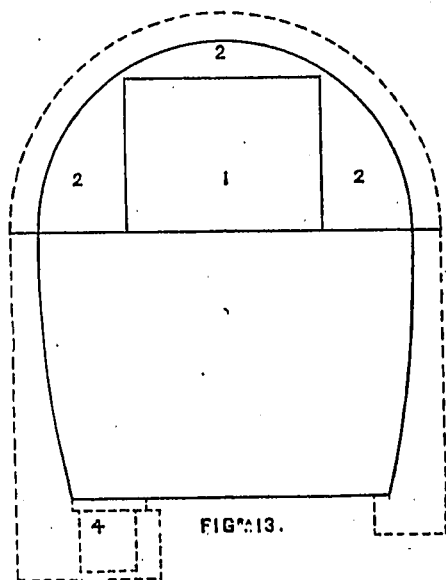


Perforadora sobre trípode para barrenos de agua.

El consumo de explosivos por m.³ resulta aproximadamente de 2 kilogramos.

Destroza.—Se hace por medio de perforadoras sobre trípode para poder hacer tiros de gran longitud. El consumo de explosivo ha sido por término medio de 0,90 kilogramo por m.³

Acueducto.—El acueducto se situaba en el proyecto en el centro de la galería, pero en el trozo primero perforado todo él es caliza y, por tanto, no era preciso construir revestimiento de arco invertido, se trasladó para facilitar el trabajo al costado. Á consecuencia del encuentro de grandes manantiales se dió al acueducto mayor sección y profundidad y la perforación es muy costosa, pues los tiros han de ser pequeños.



En resumen, el gasto de dinamita por m.³ de excavación en la sección total ha resultado de 2 kilogramos por m.³ en caliza y de 1,60 kilogramos en esquisto.

Nuevo método de perforación.—Por la razón indicada anteriormente de reducir el coste de la perforación, proveniente de las dos galerías, se ensayará un nuevo sistema, que está representado en la figura 13. Es como se ve el

método belga, pero con una modificación de importancia. En el método belga, perforadas la galería y ensanches, es preciso al hacer la destroza disponer rampas, ya se haga en uno ó dos pisos. Si se quiere evitar, hay que hacer puente para llevar el material á la carga, y la experiencia ha sancionado que para una velocidad grande el método no daba resultado.

Recientemente en los Estados Unidos del Norte de América se ha ensayado con buen éxito el empleo de cargadoras eléctricas.

La galería de avance se situará al nivel de los arranques de la bóveda, pues con esto se obtiene las ventajas siguientes:

1.^a Supresión de la destroza, que es una de las partes más caras del trabajo y que produce mayores dificultades.

2.^a En terrenos medianamente consistentes, como son los en que se efectúa ahora la perforación, conviene que desde el techo de la galería de avance hasta el perfil de la bóveda quede algún espacio, pues dada la gran cantidad de dinamita que se emplea para la perforación de la galería queda resentida la roca próxima al techo, y hay necesidad de hacer entibaciones, que al quitarlas al revestir la bóveda dejan huecos que hay que rellenar.

3.^a Es más fácil hacer con martillos, tiros altos que bajos.

Practicada la galería de avance, se hacen los ensanches (Véase 2, fig. 13) transportando los productos al pie de la destroza con vagones que vierten de frente.

La destroza se hará empleando perforadoras sobre trípodes que harán barrenos de mucha longitud.

Se comprende que la dificultad que hay que resolver es la carga de tan gran cantidad de escombros, y para eso se emplean las cargadoras que se ven en la fotografía.

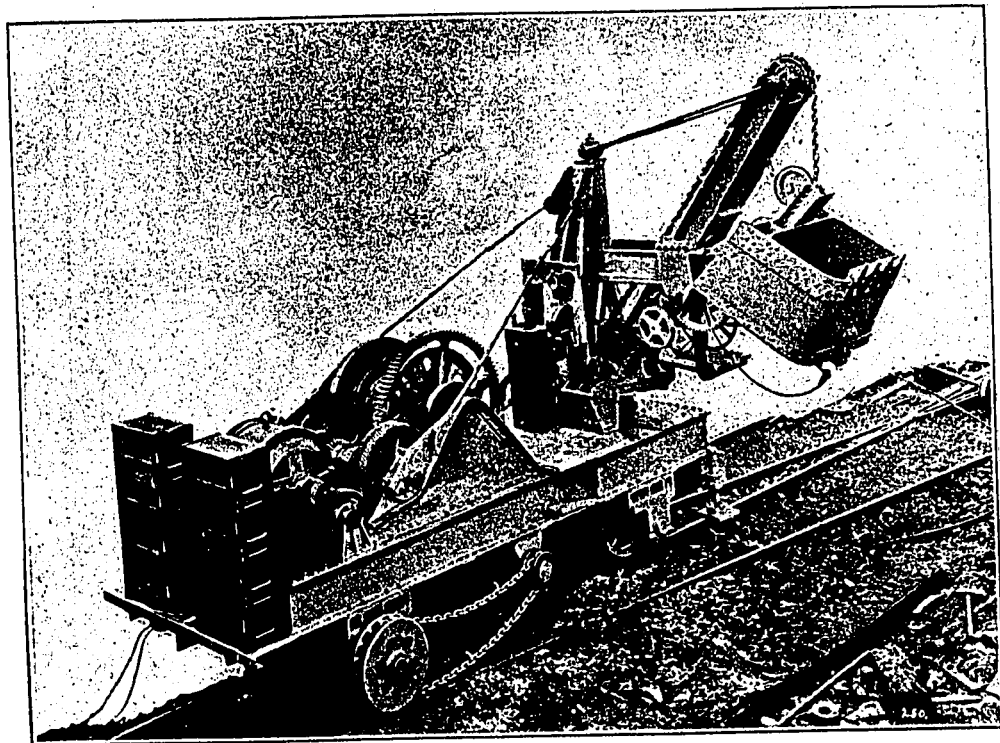
Instalada en la casa de máquinas una dinamo de 120 kilovatios, que producirá corriente á 500 voltios, se enviará al túnel por cable de dos conductores con un gran aislamiento. Solamente estarán descubiertos éstos en la zona de trabajo de la cargadora. Esta tiene motores eléctricos

para moverse sobre una vía de 1 metro de ancho y producir el movimiento de carga y después un giro para descargar en los vagones.

La pala puede cargar más de 60 m.³ por hora, y como la sección media del túnel es de 36 m.², para hacer 5 metros diarios se necesita cargar 180 metros de modo que hay garantía de que puede hacerse.

EXPLOSIVOS

En las galerías de avance se ha empleado exclusivamente dinamita goma especial que contiene un 65 por 100 de nitroglicerina, y que cuesta al pie de obra 5,50 pesetas el kilogramo. Se ensayó el empleo de dinamita con 90 por 100 de nitroglicerina, pero costando 6,50 pesetas el kilogramo en obra, no compensaba el efecto obtenido de diferencia de coste. Á fin de reducir el coste por explosivos en la galería de avance,



Cargadora eléctrica.

se ensayó, sin resultado, cargar los últimos cartuchos de los barrenos con dinamita de tercera. En los ensanches se emplea dinamita goma asimismo y únicamente en la destroza se emplea dinamita de tercera, ó combinada con la goma.

Los explosivos se almacenan en un polvorín alejado de las demás instalaciones, construido de una pared delgada de mampostería y rodeado de tierra, la cubierta es de cemento armado y el piso de tierra. El alumbrado del polvorín es eléctrico y dentro de él sólo hay conductores de flexible. Para el consumo diario hay otro polvorín practicado en la roca. La mecha y pistones están en una barraca, y en la misma se practica el deshielo de la dinamita, en vasija de doble pared.

Al trabajo se transporta la dinamita en cajas de madera, de las cuales sólo tienen llaves el encargado del deshielo y el capataz encargado de la carga. La preparación de la carga se hace en el punto de empleo.

Para el transporte de la dinamita en los carros, así como en el interior del túnel, y para el uso de ella, se ha hecho una reglamentación.

MANANTIALES

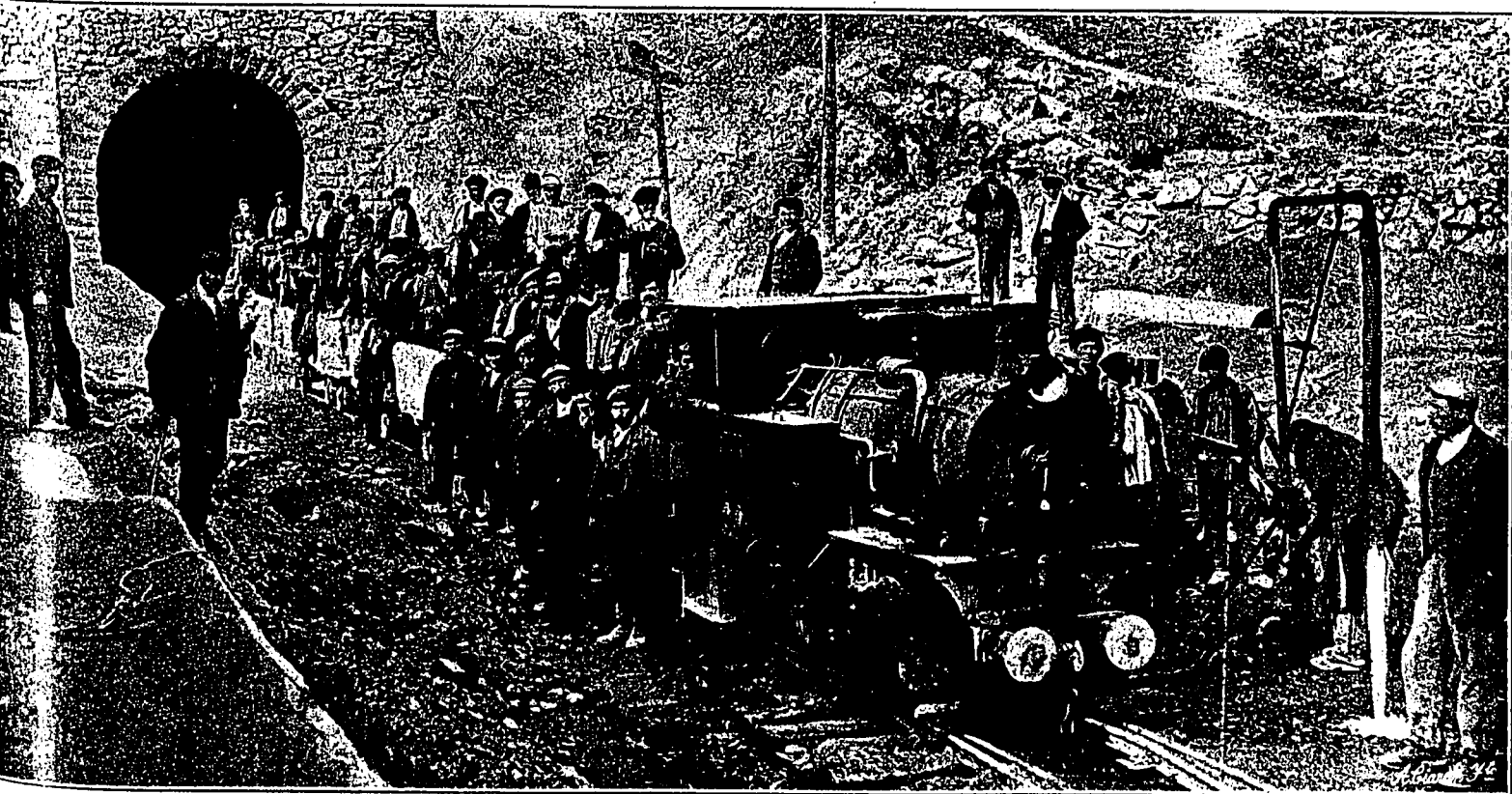
A 123 metros de la boca, se encontró el primer manantial. Al perforar la galería de avance apareció en el techo, y el gasto era de 9 litros por segundo. Tan pequeña cantidad de agua produjo muchas dificultades, y el avance fué durante varios días muy pequeño, á pesar de trabajar el personal con trajes impermeables. Cuando se hizo la destroza, el manantial continuó varios días saliendo de la parte superior, pero después empezó á salir por el costado derecho, á 1,50 sobre el suelo, hasta que se abrió completamente paso y dejó de caer agua de la parte superior. Este manantial debe proceder de una cuenca situada á bastante distancia y está en estrecha relación con

las lluvias y nieves, pues apenas pasadas doce horas de una tormenta, crece extraordinariamente. El gasto máximo ha sido de 490 litros por segundo, y los días que lo tuvo, salía el agua á gran presión hasta el punto de que hubo que suspender el trabajo unas horas por ser imposible pasar. Este manantial ha producido tantas dificultades, que se pensó en ver el medio de que no llegase hasta el túnel, pero no se pudo encontrar su origen. Lo que se consiguió es que no saliese con mucha presión, produciendo por medio de barrenos un ensanche entre los estratos que lo contienen. Ahora se ha hecho una cuneta que conduce el agua al acueducto general, y como sale sin presión, no da, y creo que no dará origen á más dificultades.

Á 420 metros de la boca apareció otro manantial de importancia, que sale de la parte superior de la sección y ha sido preciso colocar planchas de zinc para llevar el agua á un costado.

Por último, á 1.560 metros apareció al hacer el avance otro manantial que, dando un gasto de unos 6 litros por segundo, inundó la galería en términos que hubo que parar el avance unos quince días. La inundación se debió á no estar hecha en algunos trozos la cuneta lateral indispensable en el avance. Era inútil tratar de proseguir éste sin tener la cuneta, y se intentó tapar la salida del agua, que lo hacía por los agujeros de los barrenos, hasta tanto que estuviese hecha la cuneta. Primero se introdujeron tacos de madera sin resultado, y después se pensó en colocar en cada agujero un tubo de hierro con un grifo; introducir éste con el grifo abierto para dejar paso al agua y tomarlo con cemento rápido, y una vez fraguado éste, cerrar el grifo. Tampoco se consiguió el objeto porque no lo consentía la presión del agua. Por último, se decidió hacer junto al avance una presa de sacos y con una tubería se desvió el agua hasta que estuvo hecha la cuneta.

Además de estos manantiales de consideración han aparecido otros varios de menos importancia, pero que



Salida de un tren de obreros.

han producido dificultades, sobre todo en la ejecución de los cimientos, en muchos de los cuales hubo necesidad de hacer agotamientos.

En cambio, en el trozo de esquistos arcillosos desde los 600 á los 1.400 metros no se encontró una gota de agua, y como la perforación producía mucho polvo que hacía irrespirable la atmósfera, hubo necesidad de enviar agua al avance por medio de una tubería y una bomba.

ALUMBRADO

Se hace por medio de lámparas de acetileno de varios sistemas. Cada obrero lleva su lámpara, que paga al entrar á trabajar, y cuyo importe se le devuelve cuando se marcha. Se ha ensayado el que las lámparas no fuesen individuales, sino que sirviesen para alumbrar un espacio grande por medio de varios mecheros, pero se ha visto que conviene que cada obrero lleve su lámpara, porque se evitan accidentes desgraciados.

El alumbrado eléctrico se va instalando en los sitios donde no hay que disparar barrenos, pues de otro modo se rompen las bombillas y cables al hacer las explosiones.

TRANSPORTES

La vía es de 0,70 metros de ancho y 32 kilogramos de peso por metro lineal; va sobre traviesas de roble, pues con la atmósfera del túnel duran muy poco las de pino y haya.

En la galería de avance los vagones marchan empujados por los obreros, y en cada vagón se pone una lámpara de acetileno para evitar accidentes. Cada 1.000 metros hay un cambio capaz de contener ocho vagones para el servicio del avance y chimeneas.

En la parte en que el túnel está á sección completa, el transporte se hace en trenes arrastrados por locomotoras especiales para túnel, con escape del vapor independiente de la chimenea, para no activar la combustión y producción de humo. Para conseguir el mismo objeto de no producir humo, la locomotora entra en el túnel con la presión máxima cuando se avise que el tren está formado, y sale sin detenerse más que el tiempo indispensable. Ahora se hacen trenes regulares cada dos horas. El tren se forma colocando los vagones vacíos de piedra, arena y cemento en el orden en que se van á emplear y llegan hasta el último cambio de los que se hacen cada 200 metros, deja los vagones vacíos y de materiales y toma los de escombros.

El número de vagones de un tren es muy variable con la actividad del trabajo; pero las locomotoras no pueden arrastrar más de treinta vagones.

Para el servicio del tren hay un maquinista, un fogonero y un guardafreno.

Á la hora de cambio de relevo (seis de la mañana, dos de la tarde y diez de la noche) se hacen trenes para el transporte al trabajo de los obreros.

Los vagones de escombros tienen una capacidad de 1,50 m.³ y se descargan por ambos costados.

La descarga se hace de modo que se vaya formando el terraplén de la futura estación internacional de los Arañones.

Quando la altura de nieve en el exterior es tal que impide la descarga, ésta se hace en el interior del túnel en la parte ensanchada á toda sección.

VENTILACIÓN

El aire se envía al interior del túnel por medio de dos ventiladores Subzer centrífugos acoplados en serie. El número de revoluciones es de 1.450 por minuto y la fuerza que consumen 100 HP.

La tubería de conducción tiene diámetros diferentes en las distintas zonas de trabajo. En la parte donde se halla el túnel abierto á toda sección, la tubería tiene 0,80 metros de diámetro. En la parte donde sólo faltan los retoques 0,40 metros, y en la galería de avance se emplean tubos análogos á los que conducen el aire comprimido y que tienen 0,175 metros de diámetro. Evidentemente hay interés en que el diámetro de la tubería sea lo mayor posible, pues de este modo, como el rozamiento es menor, se puede enviar á igualdad de fuerza, mayor cantidad de aire. Pero hay un límite práctico del cual no se puede pasar porque se entorpece mucho el trabajo, y este límite es, naturalmente, variable con la sección de las zonas de trabajo.

En la galería de avance fué preciso el empleo de idénticos tubos que los que conducen el aire comprimido, que son de fundición, pues los de ventilación que eran de chapa, sufrían mucho á causa de las piedras lanzadas en los disparos, á pesar de que se les protegía con placas de hierro curvadas.

Las juntas de los tubos son por arandelas con tornillos y se interpone cartón de amianto.

En general, la ventilación ha resultado suficiente con 150 m.³ de aire por minuto al avance. En éste se puede decir que es el sitio en que mejor se está respecto á ventilación, pues contribuye el aire comprimido de los escapes de las perforadoras, aunque éste no tiene las mismas condiciones, pues está saturado de los aceites que se emplean en lubricar los compresores, á pesar de que una gran parte se le quita en los depósitos de regulación. En los túneles de importancia que he visto el aire de ventilación no llega al avance, y sólo con el aire comprimido se produce la ventilación en éste.

En la galería superior de ventilación es mucho más difícil; pues los conductos que se derivaban de la tubería principal se rompían constantemente ó se interceptaban con escombros.

En la destroza, únicamente cuando se disparaba, la atmósfera era mala, á los pocos minutos se estaba muy bien.

Unos días en el año la ventilación ha sido deficiente y se debió á que estando la boca orientada en dirección del viento Sur, los días en que éste sopla mucho no dejaba salir fácilmente el humo.

La temperatura en el avance no ha excedido nunca de 16° en la roca y 18° en el aire. Ha seguido aproximadamente la ley de aumentar un grado centigrado por cada 42 metros de altura de carga; esto se refiere únicamente al avance, pues en los sitios en que el aire tiene fácil acceso, no tarda en establecerse una temperatura casi constante, cualquiera que sea la altura de carga.

REVESTIMIENTOS

Las rocas encontradas en la perforación del túnel han sido hasta ahora:

- Caliza gris metamórfica.
- Esquisto calizo-arcilloso.
- Mármol campan rojo y verde.
- Esquisto arcilloso lustroso.
- Mármol bardillo.
- Esquisto clorítico.
- Esquisto talcoso.

La caliza gris metamórfica y los mármoles se han presentado con una estratificación vertical é inclinada 45° próximamente con relación al eje de la galería. Son rocas no desagregables por los agentes atmosféricos; pero á causa del empleo de la perforación mecánica, la roca queda quebrantada á veces hasta mucha distancia de la superficie. Por ahora no se ha hecho ninguna clase de revestimiento y parece no ser necesario, pero si cayese en lo sucesivo algún trozo de roca, al probarla en los frecuentes reconocimientos que se hacen se revestirá con hormigón, dándole un espesor uniforme de 0,30 metros.

En los sitios donde han aparecido manantiales en las bóvedas se revestirá desde luego en la forma antedicha,

disponiendo barbacanas en los arranques y cimientos de los estribos.

El esquisto calizo arcilloso es roca desagregable y se revistió en la forma indicada en la figura 14. Como daba

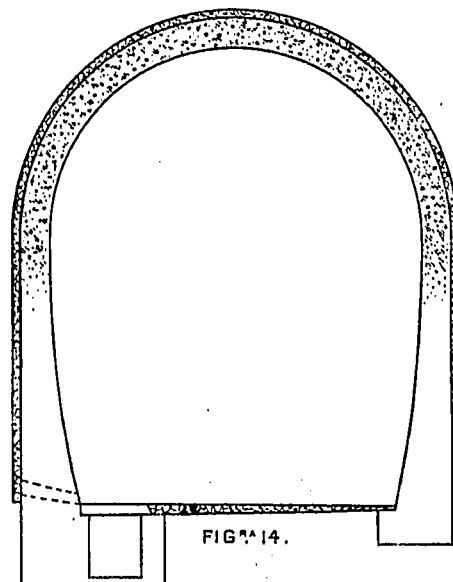


FIG. 14.

tiempo á ejecutar primero los estribos y después la bóveda, se hizo en esta forma. Las entibaciones fueron de poca importancia.

El esquisto arcilloso lustroso ha sido roca difícil de perforar en el avance,

y al poco tiempo de estar en contacto con el aire se hincha y reduce paulatinamente á polvo. Presenta estratificación de hojas delgadas en dirección casi paralela al eje de la galería é inclinadas unos 35°.

Dos fenómenos de empuje se observan en la galería de avance y después con mayor intensidad en los ensanches. Uno es la formación en el techo y costado dere-

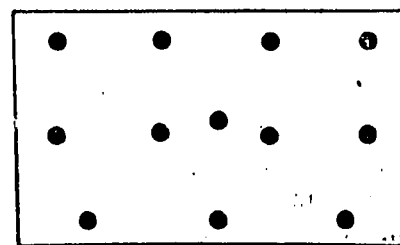


Fig. 15.

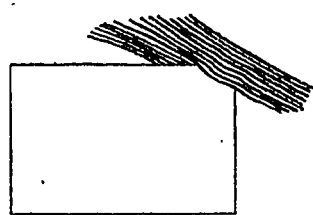


FIG. 16.

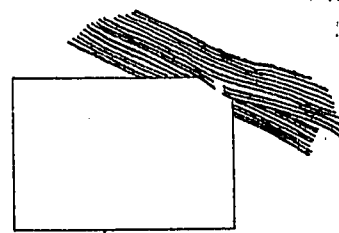


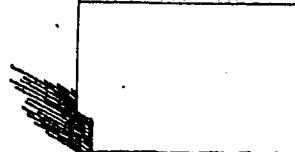
FIG. 16.

cho de panzas (fig. 15), que después se abren (fig. 16), y el otro es un deslizamiento de unos bancos sobre otros, en el intermedio de los cuales hay una capa muy delgada de arcilla fina (fig. 17).

Ambos fenómenos se producen al poco tiempo de estar la roca en contacto con el aire; pero sus efectos no se aperciben sino al cabo de dos ó tres meses. Se comprende que en esta clase de roca el revestimiento ha sido de mucha importancia, habiéndose dado á la bóveda espesores variables de 0,60 á 0,90 metros.

Desgraciadamente, no hay en materia de revestimien-

FIG. 17.



tos en terrenos de esta naturaleza ninguna teoría racional para calcular su espesor, porque se desconoce la magnitud del empuje, además de que éste no tiene zona de aplicación fija, sino que varía constantemente. En todos los túneles en que se ha encontrado esquisto lustrado (Arblerg, Simplón, etc.), ha sido necesario rehacer mucha parte de los revestimientos, porque desconociéndose los empujes que produce el esquisto, se habían dado espesores pequeños. En la obra de Biadego *I grandi trafori alpini* se describen con mucho detalle las dificultades á que dió lugar el esquisto en varios túneles, en alguno de los cuales, después de haber tenido que rehacer revestimientos durante la construcción, se tuvieron que demoler y reconstruir en la explotación, con las grandes dificultades inherentes á este trabajo en líneas de mucho tráfico.

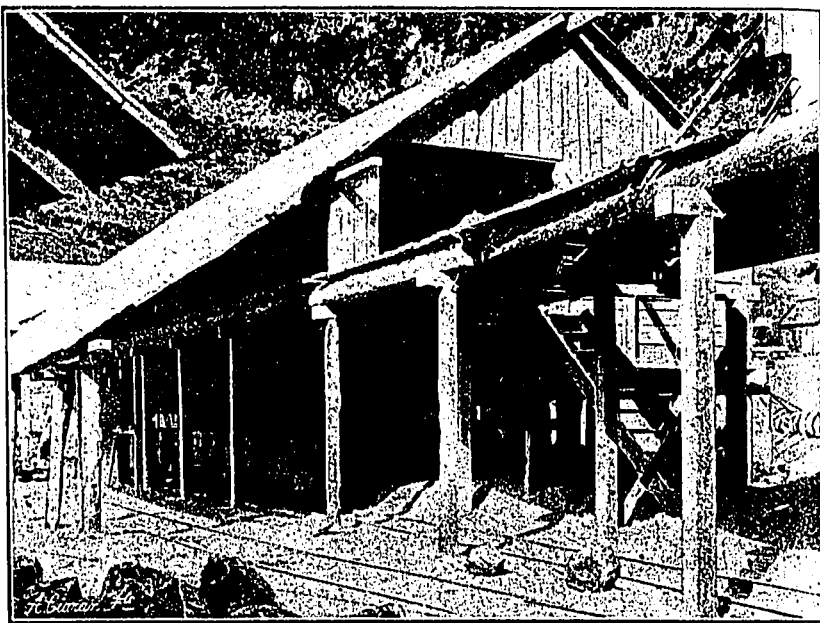
En la descripción de los túneles de los Alpes figuran datos muy interesantes de espesores de revestimientos, tanto de los que hubo que demoler, como de los que resistieron á los empujes. Á falta, por tanto, de teoría que permita calcular los revestimientos, se tienen datos prácticos, y con ellos, dándose cuenta de la naturaleza del terreno, se puede con alguna aproximación adoptar el espesor más conveniente.

Uno de los Ingenieros que construyeron el túnel del Simplón, Mr. Brandau, publicó hace poco tiempo en la *Genie Civil* un artículo en el que, sin pretender dar una teoría para el cálculo de revestimiento, analizaba la forma en que se producían los empujes en el esquisto, llegando á la conclusión de que por efecto del aire, éstos se desagregaban tendiendo á tomar el talud material correspondiente al material desagregado.

Hay muchos casos en que, en efecto, es cierto que el empuje procede de dicha causa, pero no se explican otros como el que según dije antes se observaba en el túnel de Somport, de deslizamiento de unos barrios con relación á otros, y que es tan importante, que en algunos sitios llegó el desplazamiento en un mes á más de 0,10 metros.

Tratando sólo de dar una ligera reseña de la marcha de los trabajos, no me detendré más sobre este punto que trataré ampliamente en otra ocasión.

Para evitar que al hacer el revestimiento estuviese muy



Machacadora y arenera.

desagregado el esquisto, se procuraba: 1.º, que la galería de avance superior estuviese en los arranques de la bóveda, de modo que al hacer los ensanches y realces se quitaba mucha parte desagregada; 2.º, revestir apenas hecha la excavación, para no dar lugar á que el esquisto estuviese mucho tiempo al descubierto.

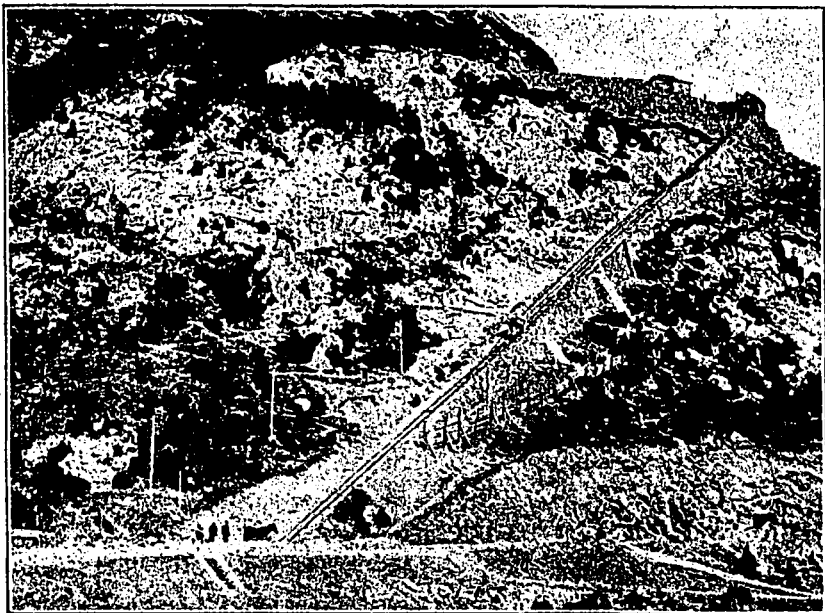
Se empieza por la construcción de las bóvedas, para lo cual se disponían en los arranques tabloncillos sentados sobre una capa de arena, para que quede bien regular. La bóveda se hace de sillarejo ú hormigón, según sean ó no de tener empujes en breve plazo. Se construyen anillos de 6 metros de longitud. Las cimbras son de hierro de sección de U, y tienen un tirante y un puente; son desarmables, pero no hace falta, en general, pues se manejan fácilmente. La elevación de los materiales se hace por medio de tornos neumáticos.

Las bóvedas de hormigón se ejecutan en la forma siguiente: colocadas las cimbras se ponen tabloncillos de 6,30 metros de longitud y 0,20 de ancho y 0,04 de grueso, uno á cada lado. Se echa el hormigón en dos capas de 0,10 metros que se apisonan sucesivamente. En estos primeros tabloncillos se echa hormigón hasta que toque á la roca, cualquiera que sea el espesor indicado para la bóveda.

Después se colocan los demás tabloncillos procurando que se vaya haciendo la bóveda simétricamente, y antes de echar el hormigón se coloca piedra en seco en el sobreespesor. Al llegar á la clave se deja un intervalo entre los tabloncillos de 0,60 metros y se colocan camones; la parte de la clave, es la que exige un apisonado más esmerado y lo hace un obrero especialmente destinado á esto y empleando hormigón más rico que en el resto.

Las bóvedas de sillarejo se ejecutan en la forma ordinaria, sin más precaución sino de procurar que no quede detrás del trasdós de la bóveda ninguna madera de la entibación.

Una vez hecha la bóveda se excavan los estribos cuando ésta tiene, si es de sillarejo, diez días, y veinte si es de hormigón. La excavación se hace en tramos de 6 metros, y cada dos se coloca un pie derecho de madera para sostener la bóveda. Los estribos se hacen de mampostería ordinaria y careada.



Plano inclinado para explotar una cantera.

En algunos trozos se observó que la vía por donde circulan los vagones se había levantado, y se niveló poniendo señales, que al mes siguiente habían subido 0,15 metros. Se hizo en estos trozos una solera de hormigón de 0,40 metros de espesor.

Materiales.—La piedra que se emplea en los revestimientos es de naturaleza caliza y se extrae de dos canteras situadas en la proximidad de la obra, y para una de ellas se ha construido un plano inclinado con el 55 % de pendiente.

Para el transporte se emplean las vagonetas que circulan por el túnel, que montan en los carretones unidos á los cables.

La piedra para fabricación de hormigón tiene un tamaño que oscila entre 0,01 y 0,04 metros. Se obtiene por dos machacadores, una de mandíbulas y otra de campana, que producen en total unos 100 m.³ diarios.

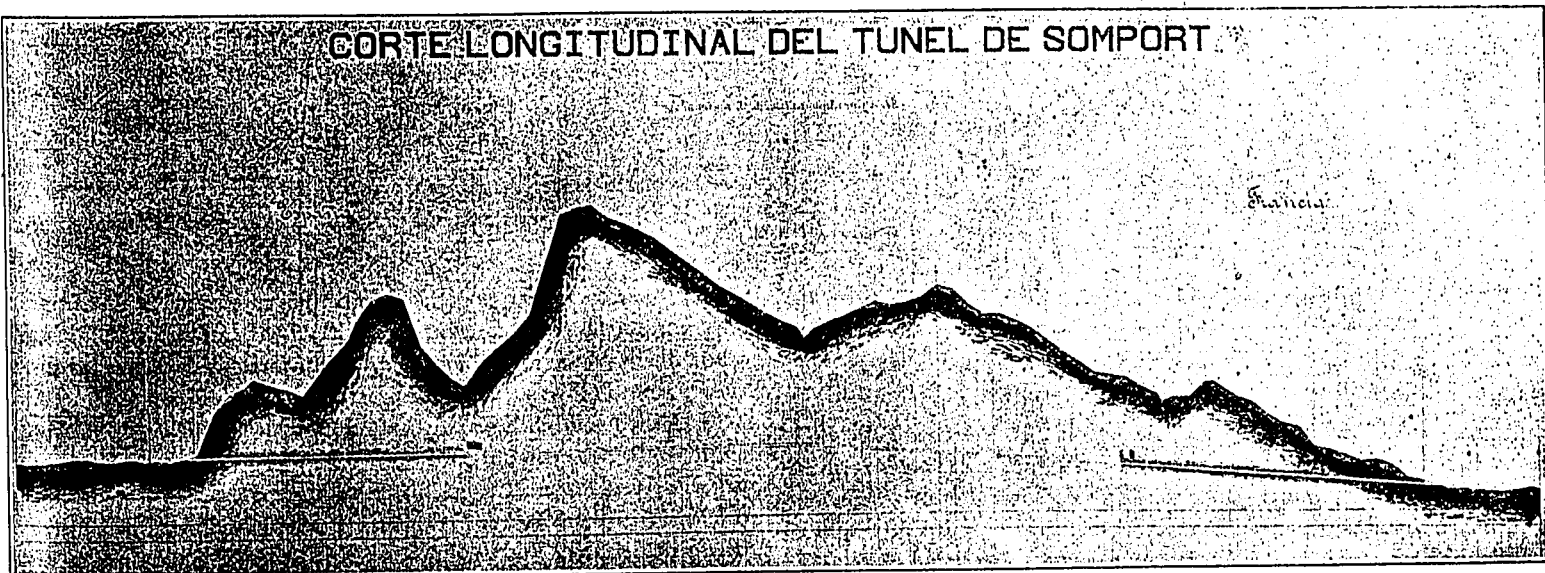
Las losas de tapa del acueducto se harán de cemento armado en las proporciones de 300 kilogramos de cemento, 400 litros de arena y 800 litros de gravilla.

Por último, ante la escasez de sillarejo natural para proporcionar como hace falta 60 m.³ diarios, se estudia el empleo de sillarejo artificial.

RESUMEN DEL ESTADO DE LOS TRABAJOS

Perforación	Galería de avance inferior..	1.300	metros.	
	Galería de avance superior.	1.736	—	(1)
	Ensanche.....	1.198	—	
	Destroza.....	1.100	—	
Revestimientos..	De 323 á 355.....	32	metros.	
	De 577 á 1.104,55.....	527,55	—	

CORTE LONGITUDINAL DEL TUNEL DE SOMPORT



La arena es artificial y se hace por una máquina de cilindros horizontales que tritura la piedra menuda. Estos cilindros de acero al manganeso están dispuestos de modo que la distancia entre sus ejes sea invariable, al contrario de otras máquinas, en las que para evitar su rotura en el caso de que se introdujera entre los cilindros un cuerpo duro, tienen uno de los ejes variable de posición y un resorte para volverle á la primitiva. El inconveniente de éstos es que producen una proporción bastante considerable de pequeñas lascas. La introducción de un cuerpo extraño se evita disponiendo la máquina de modo que la piedra entre por una pequeña abertura.

La arena producida tiene una gran cantidad de polvo. Se hicieron varios ensayos de morteros á la tracción, y se comprobó que la resistencia disminuía muy poco con el polvo; en cambio, la comparidad era mucho mayor en los morteros hechos con arena con polvo. Se adoptó el mortero de arena con polvo que en la proporción de 600 kilogramos de cemento de portland por metro cúbico de arena, da á los veintiocho días resistencia á la tracción de 30,5 kilogramos por centímetro cuadrado.

El hormigón tiene dos partes de mortero por tres de piedra partida.

Para terminar diré, que los trabajos de triangulación, trazado del eje del túnel y nivelación de las bocas, se hicieron contradictoriamente. Tomaron parte en ellos, Mr. Peyronel, Comandante de Artillería francesa y mon-sieures Desmichels y Dumont, Ayudantes de Puentes y Calzadas por parte de Francia, y los Sres. Caso y Losada, Ayudante y Sobrestante de Obras públicas, respectivamente, y el que suscribe, por parte de España.

La obra se ejecuta por contrata, habiéndose adjudicado á la Sociedad Calderai y Bastianelli, que tiene á su servicio á los señores Ingenieros Valatelli, Da Forno y Bertón, como personal técnico.

La ligera reseña que hago de esta obra la completaré cuanto lo consienta el estado de mi salud, publicandó estudios sobre perforación mecánica, coste de los últimos grandes túneles europeos y americanos, y comparación de los diversos sistemas de ejecución.

MANUEL AGUILAR,
Ingeniero de Caminos.

Canfranc, Marzo 1911.

(1) Es mayor la superior que la inferior porque á los 1.300 metros se cambió el método de ataque, como queda dicho.