

Túnel Las Raíces

(Conferencia)

EL accidente ocurrido el 17 de Mayo p. p. en las faenas de construcción del Túnel de Las Raíces y el hecho de haber alcanzado pleno éxito el trabajo de salvataje de 42 personas que quedaron aprisionadas en su interior, me ha inducido a creer que puede haber conveniencia en relatar algunas de las incidencias ocurridas, aunque sea en forma rápida y falta de hilación.

El túnel de Las Raíces forma parte de las obras que deben ejecutarse para realizar la construcción del Ferrocarril Transandino que, saliendo de la actual Estación de Curacautín, pasa por Lonquimay y llega al límite chileno-argentino, con un recorrido de 130 kilómetros, después de cruzar en Lolén (Km. 80) unos yacimientos de esquistos betuminosos a los cuales se les atribuye cierta importancia.

El túnel se encuentra ubicado entre los Km. 41,118 y 45,655 desde Curacautín, teniendo, por lo tanto, una longitud de 4.537 metros. Constituye la obra más importante del ferrocarril y su costo se ha estimado, según contrato, en \$ 17.712,369.68 moneda legal. El perfil longitudinal tiene pendiente hacia las dos bocas: De boca Norte, que está a la cota 1010 m. sobre el nivel del mar, sube con 2‰ en 2.150 metros; en seguida

tiene una horizontal de 129,8 metros para bajar hacia la boca Sur con 4‰.

Antes de solicitar propuestas para la construcción de esta obra, el distinguido profesor de Geología de la Universidad de Chile, señor Juan Brügggen, emitió un informe acerca de las condiciones del terreno en que se había ubicado el Túnel.

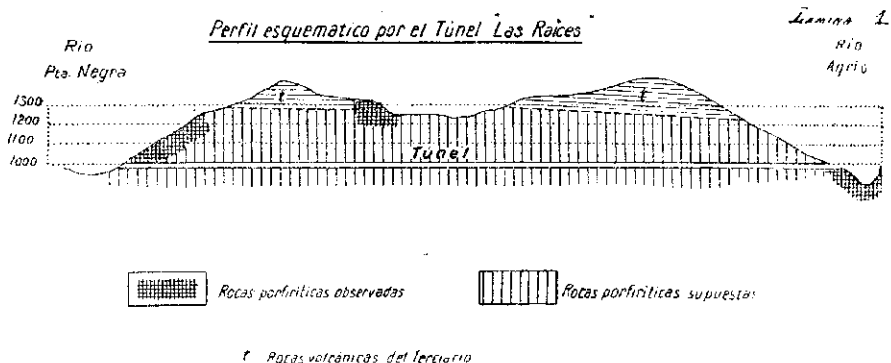
Expresa el señor Brügggen: «Toda la región está cubierta de bosques vírgenes que, junto con la espesa capa de tierra vegetal esconden a las rocas fundamentales. Si agregamos a esto la imposibilidad de atravesar mayores distancias sin abrir previamente senderos, se comprende la dificultad de estudiar las rocas duras que deberán perforarse por el túnel y la imposibilidad de levantar un perfil exacto de las capas. En realidad, encontré las rocas duras solamente en tres diferentes puntos en las cercanías del achurado cruzado».

«En los tres puntos se trata de la misma clase de rocas; de las porfiritas que constituyen el elemento principal de la Cordillera de los Andes, en la que alcanzan varios miles de metros de espesor. Son rocas muy compactas y resistentes, que en sus cualidades para la perforación de un túnel son idénticas a los pórfidos».

«Fuera de las rocas porfíricas que pueden considerarse como favorables para la construcción de un túnel, aparecen

en las partes altas de los cerros otras capas mucho más desfavorables, que se han indicado en el perfil con la letra t. Se trata de acumulaciones poco cementadas, de gruesos bloques volcánicos que

alternan con areniscas blandas y con extensas capas de lavas. Son las rocas que pueden observarse cerca del portezuelo que conduce a Lonquimay». (Lámina 1).



En seguida se extiende el profesor Brüggen en exponer el proceso que a su juicio ha seguido la formación de los valles, para manifestar que:

«Un factor muy importante para la construcción de los túneles es la cantidad de agua que se encontrará. Más arriba hemos visto que las porfiritas serán la única roca que se encontrará en el túnel y en tal caso no habrá que temer filtraciones demasiado grandes, en vista de que se trata de rocas impermeables. Filtraciones habrá siempre y éstas serán más importantes donde se cortan zonas de grietas o fallas. Si existen tales zonas en el trazado del túnel no puede saberse, debido a la cubierta de bosques; pero no hay ninguna razón para temer que en ellas pueda salir una cantidad excesiva de agua».

En efecto, salvo en el corte de acceso de Boca Norte, en que se atravesó una capa de terreno de aluvión, que obligó a correr hacia el interior la Boca, para dejarla toda en terreno firme, todo el túnel se ha perforado en las rocas porfíricas que preveía el profesor Brüggen, a

veces bastante firmes, otras partidas y con grietas, o espejos con capas delgadas de arcilla.

En algunos puntos se presentaron abundantes filtraciones, y las enmaderaciones se han hecho de acuerdo con la naturaleza del cerro.

El 31 de Octubre de 1929 el Gobierno contrató la construcción de esta obra con la firma argentina Lavenás & Poli, S. A., que presentó la propuesta más favorable en la licitación pública hecha al efecto. Se presentaron en esa ocasión cinco proponentes; el valor de las propuestas fluctuó entre \$ 18.222.602, presentada por Lavenás & Poli, S. A. y \$ 25.565.245.— presentada por la firma Ernesto Williams Moir & Cía. Ltda. En las bases para la petición de las propuestas públicas se consideraron tres alternativas:

- 1.º) Los interesados podrían presentar propuestas por «Suma Aizada».
- 2.º) Por «Precios unitarios», con limitación de las cantidades de obras.
- 3.º) Por «Cost Plus», fijándose un precio básico.

Todos los proponentes presentaron sólo proposiciones por el sistema «Cost Plus», y se explica que no hubiese interesados por ejecutar esta obra a «suma alzada», ya que teniendo tantas eventualidades imposibles de prever, obliga, para ponerse a cubierto de ellas, a elevar el valor de la propuesta en forma exagerada.

El contrato se hizo por el precio básico de \$ 16.400.342.30 con 8% de plus. En caso que la obra, una vez terminada, tenga un valor menor que el costo básico, el contratista tiene derecho a percibir el 40% de las economías que se hagan; si se excede el costo básico, se disminuirá el beneficio del 8% en un 20 por ciento del mayor costo que representen los excesos, limitándose el castigo hasta dejar como utilidad para el contratista sólo el 5% del costo básico.

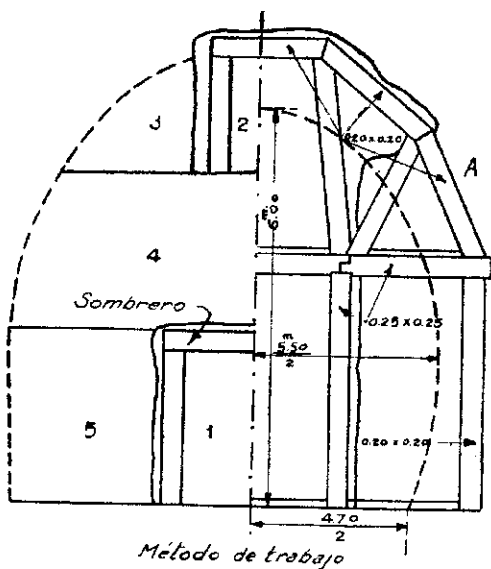
Las faenas se iniciaron en el mes de Noviembre de 1929 con la adquisición de los elementos necesarios para el desarrollo del trabajo y el mejoramiento del camino público entre Curacautín y Lonquimay, debiendo, además, construirse un camino particular de 5 kilómetros de largo entre el Km. 38 del camino público y Boca Norte, y otro de 27 kilómetros entre el camino público que conduce hacia Lonquimay y Boca Sur, los cuales dan acceso a las bocas-túneles correspondientes, y es necesario decirlo, son los únicos trozos del camino que actualmente pueden ser recorridos sin inconvenientes, pues la naturaleza del terreno en que se encuentra la mayor parte del camino público y las dificultades para encontrar materiales adecuados para su conservación, hace que durante el invierno sean éstos casi intransitables para vehículos motorizados.

PROGRAMA DE TRABAJO.—Se estimó

que en dos meses (Noviembre y Diciembre de 1929) se tendrían aseguradas las comunicaciones, caminos y teléfonos.

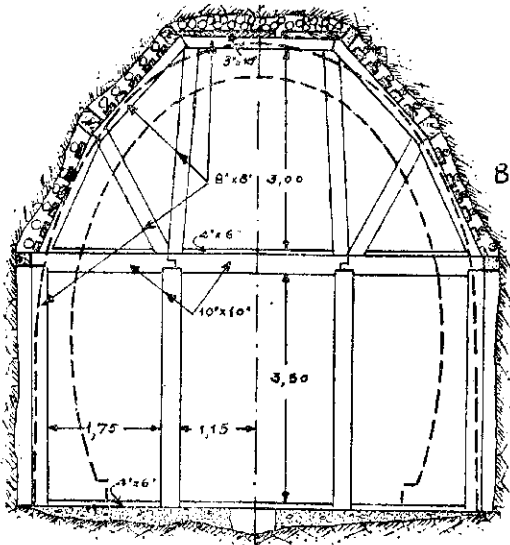
En los meses de Enero y Febrero se tendrían instalados parte de los campamentos y se iniciaría la instalación de la maquinaria; se preveía que seis meses después de firmar el contrato de construcción, estaría todo listo para iniciar de lleno la perforación.

Las instalaciones estaban previstas para tener un adelanto diario de 5 m. por cada lado. La sección transversal adoptada para el túnel está indicada en la lámina A, y para la perforación se emplea el procedimiento llamado *Austriaco*, que consiste en atacar una galería de avance a la cota de la



rasante del túnel; dicha galería se ejecuta como mínimo de 2.40 metros de ancho por 2.50 m. de alto.

En seguida, y cada 50 a 80 metros, según el terreno, se hacen piques verticales llamados *realces* o chimeneas, cuya



Marco de dos pisos para terrenos de poca resistencia

altura queda fijada por la altura total de la sección transversal del túnel.

Una vez practicado el realce, se da comienzo a la ejecución de la galería superior, en ambos sentidos; dicha galería es un poco menor que la galería inferior; por último, se lleva a cabo el ensanche del resto de la sección.

Este sistema, que es la norma general, permite tener muchos frentes de ataque y sufre modificaciones según la naturaleza del terreno encontrado. En las partes en que la roca ha sido muy firme se ha desmontado de una sola vez la sección entera, colocando la galería de avance en el centro Fot. 1 (sistema americano); en los casos de rocas agrietadas se ha extraído la sección 2 para extraer en seguida los 3-3 que se extienden hasta la altura de los marcos altos para terminar con el esquinche de los trozos 5-5.

El tipo de enmaderación aplicada es el llamado Americano y que se en-

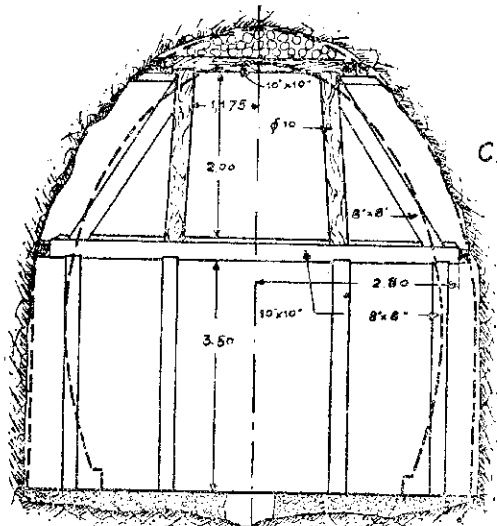
cuentra indicado en las figuras B y C, empleándose maderas de coigües, raulí y algo de roble, que se elabora en aserraderos instalados en las cercanías de las Bocas Túnel.

Se preveía en el proyecto tener un avance de 5 metros diarios, para lo cual se consultó que era necesario tener para cada Boca:

	Pies cúb. de aire por minut.
6 perforadoras,	consumen c/u 180
4 martillos Jackhamen	» » 100
1 afiladora	» » 170
1 fragua a petróleo	» » 20
1 esmeril	» » 20
1 cargadora	» » 160
1 Ramsone	» » 300
1 Cement Gun	» » 170

O sea, en total, el consumo máximo del aire comprimido, 2,530 y en término medio 1,455 pies cúbicos.

Con estos elementos se fijó la necesidad de tener en servicio tres compresores



Marco sencillo para cerro firme pero agrietado

ras que necesitaban para su funcionamiento con plena carga unas 450 HP. y con una carga normal unas 360 HP. El consumo sería:

3 compresoras c/u 150 HP.	450 HP.
1 ventilador que absorbería	39 HP.
El taller mecánico »	15 »
1 chancadora »	18 »
1 hormigonera »	8 »
Luz en el campamento y túnel	30 »
Cargador de acumuladores para las locomotoras	15 »
Contando con reservas	25 »

O sea un total necesario de 600 HP. efectivos.

FUERZA MOTRIZ.—Fijada la capacidad que se estimó necesaria, se estudió la manera de producirla.

Como solución se estudió la posibilidad de instalar una sola planta térmica compuesta por dos motores semi-fijos, tipo R. Wolf, de vapor recalentado. La planta se instalaría en Boca Norte y se transmitiría la energía a Boca Sur por medio de una línea de alta tensión, empleándose leña, como combustible, la que es muy abundante en la región.

Como solución hidráulica, que fué la que se adoptó, se previó la instalación de dos plantas hidro-eléctricas de m. o. m. 700 HP cada una, para lo cual se aprovecha en Boca Norte la energía que produce el río Agrío, que pasa próximo a la Boca. Se ejecutó un canal de aducción que permite una caída de 46 metros, pudiendo el río proporcionar durante 9 meses del año unos 1,500 litros por segundo, lo que nos daría una fuerza teórica de 690 HP; aunque el gasto disminuye mucho en los meses de Febrero, Marzo y Abril; sin embargo, como las faenas no han tenido este año la intensidad prevista, la falta de agua no se ha hecho sentir sino durante dos semanas.

En Boca Sur se pudo disponer de una caída de 85 m., lo que exige, para tener unos 700 HP, sólo unos 800 lit./seg. que holgadamente proporciona el río Blanco Huiñ durante todo el año.

Tomando en cuenta las diversas pérdidas y rendimientos, se adquirió en condiciones económicas favorables, dos plantas: una para Boca Norte, formada por dos turbinas sistema Francis de 335 HP cada una, y otra para Boca Sur, de 700 HP en el eje de la turbina.

Dada la naturaleza de esta charla no entrará a exponer los antecedentes que llevarán a adoptar esta resolución. Sin embargo, conviene hacer presente que el costo del caballo-hora producido por la planta térmica con una amortización de 25% anual, se estimó en \$ 0.036, o sea, alrededor de 5 centavos el Kw-hora.

El costo del caballo-hora en la planta hidráulica, amortizada totalmente en cuatro años, se estima en \$ 0.025, o sea, 3,4 centavos el Kw-hora.

MAQUINARIAS ADQUIRIDAS. *Generadores.*—Para Boca Norte se adquirió dos generadores Siemens Schukert de corriente trifásica, de 380 volts. y 50 per. Para Boca Sur se adquirió un generador de corriente trifásica marca A E G de 440 volts. y de 60 per.

El valor de las maquinarias de casa de Fuerza de Boca Norte: turbinas, generadores, tableros, etc., fué de \$ 125.940 y las de Boca Sur fué de \$ 123.900.

Compresores.—En cada Boca se instalaron cuatro compresoras Ingersoll Rand, tipo X CB. Baja presión 17"×12", alta presión 10½"×12", que da 300 revoluciones por minuto y proporciona 770 pies cúbicos por minutos; se trabaja con presión de 90 a 110 libras.

Los motores son AEG de corriente trifásica de 150 HP cada uno.

Las compresoras están conectadas a unos depósitos de aire que, a su vez, es-

tán unidos entre sí y con la cañería que conduce al túnel.

Ventiladores.—En cada planta se ha instalado tres ventiladores Root que proporcionan 60 m³ de aire por minuto y que pueden expeler o aspirar, según sean las necesidades del trabajo.

Maestranza.—En cada Boca se ha instalado una pequeña Maestranza, que permite ejecutar los trabajos necesarios para atender las faenas.

Afiladora de barrenos.—Para afilar los barrenos se adquirieron dos equipos, formados por un torno a petróleo sistema Sullivan y una afiladora.

MEDIOS DE TRANSPORTE Y DE COMUNICACIONES

A) A lo largo del túnel se encuentra:

1) Cañería de ventilación formada por un tubo de 50 cm. de diámetro, formada de palastro de 3 mm. de espesor; estos tubos se confeccionan en la Maestranza de cada Boca, soldándose eléctricamente sus juntas, tanto longitudinal como transversalmente, en trozos de 8.80 y 13 metros de longitud, que se unen unos a otros por medio de planchas que se apernan convenientemente.

2) Cañería de aire comprimido, formada por tubos de acero de 6" de diámetro, con junta Victavlic y que se disminuye a 2½" al interior.

3) Cañería de agua a presión para las perforadoras, en que se emplean los mismos tubos anteriores de 2½".

4) Cable para la luz. Lo constituye un cable forrado con tres conductores de 10 mm. de sección, que se coloca dentro de una cañería corriente en las partes donde hay muchas filtraciones o peligro de derrumbes.

5) Conductores eléctricos para teléfonos.—Por las dificultades para adquirir cable forrado, se ha empleado sólo alambres forrados, que se llevan adheridos a las enmaderaciones.

bres forrados, que se llevan adheridos a las enmaderaciones.

6) Línea decauville para el transporte de desmontes, que se encuentra colocada a lo largo de la galería inferior; con rieles de 10 kg. por metro, con desvíos espaciados convenientemente para el cruce y armadura de los convoyes. Hay 125 carros especiales con tolvas bajas, con capacidad de ¾ de m³, habiendo cierto número de ellos con palancas, para facilitar las maniobras, y unos 50 de plataforma solamente.

Los convoyes son arrastrados por locomotoras eléctricas de 6 toneladas de peso, a acumuladores, que tienen un esfuerzo de tracción de 400 kg. en el gancho, con máximo de 800 kg. y arrastra ordinariamente 20 carros.

El Ingeniero Administrador del trabajo, señor M. Valenti, ha modificado con éxito las locomotoras, de tal manera que pueda trabajarse en el exterior con trolley y cuya corriente es proporcionada por el cargador que sirve para cargar los acumuladores, los que son cargados en los momentos en que la locomotora está detenida, mientras se preparan los convoyes. (Una trabaja mientras la otra está en carga).

FORMA EN QUE SE EJECUTA EL TRABAJO

Los obreros están distribuidos en grupos que trabajan por turnos; los paleros que cargan los carros y que se llaman marineros, que hacen el trabajo más pesado y que limita, en buenas cuentas, el avance, trabajan seis horas; el resto del personal, formado por perforistas, enmaderadores, personal de tren, herramenteros, etc., trabajan ocho horas.

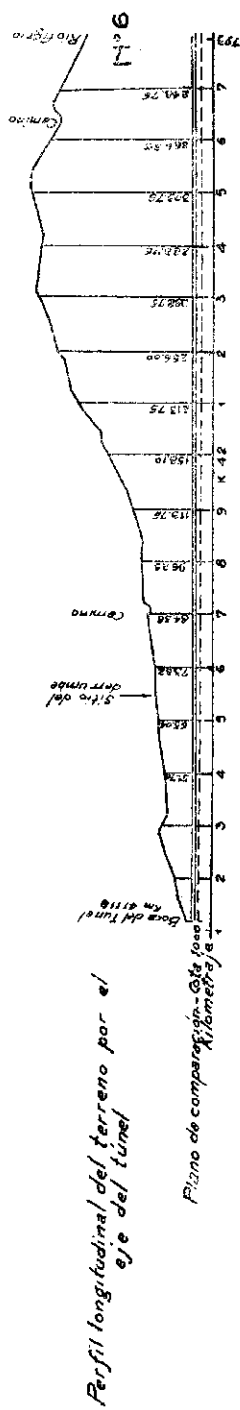
En el día del accidente, la gente había entrado en el turno a las 7 de la mañana y debía salir a las 3 de la tarde. Cuando éste se produjo, se estableció por las

listas que habían quedado incomunicados 42 obreros, incluyendo el señor Aaby, que estaba a cargo de la gente en el interior, y el maquinista del tren.

Se dispuso entonces que entrara la gente del turno siguiente a restablecer la galería, iniciando inmediatamente la extracción del material que constituía el derrumbe y que se había extendido en un espacio de unos 20 minutos hasta el Km. 41.460, o sea, hasta unos 200 metros.

Mientras tanto, el ingeniero señor Bartolomé Pinilla, que estaba a cargo de la obra, ordenó reconocer el exterior subiendo al cerro a lo largo del eje, para ver qué ocurría. Pronto tuvo noticias que había aparecido en la superficie y en el eje mismo del túnel un gran hoyo.

Se verificó que se trataba de un embudo más o menos de forma elíptica, de unos 12x18 m. en la superficie, con una profundidad libre de unos 25 a 30 metros, y en el fondo una superficie de unos 6x8 m.; se notaba en la parte inferior del embudo agua que parecía estar en ebullición; las paredes de este embudo son completamente lisas y, fuera de la capa superficial de unos 4 m., que parece terreno vegetal, el resto es arena con piedrecillas rodadas, pero pequeñas; no se ve ninguna piedra mayor de 5 cm. de largo; en la superficie no hay señales que haya corrido agua, lo que indica que la capa es muy permeable. Ubicado en los planos este pozo, se verificó que correspondía exactamente a la parte derrumbada en el interior K. 41.531, fig. 6; se estimó aproximadamente el volumen del hueco en unos 2000 m³ y si se estima que este material se hubiera extendido a lo largo del túnel, sería suficiente para llenar la galería en una extensión de 60 metros a cada lado, contando que parte del derrumbe se extendió en la parte ensanchada y hasta el marco N.º



Mientras tanto, se había organizado el trabajo en el interior del túnel, formándose turnos que trabajaban con todo entusiasmo, queriendo todos entrar a trabajar, por lo cual fué necesario explicar a los obreros que era menester mantener el orden y que debía entrar al túnel sólo el personal que se indicaba como necesario para cada turno, pues se preveía que la tarea iba a ser larga.

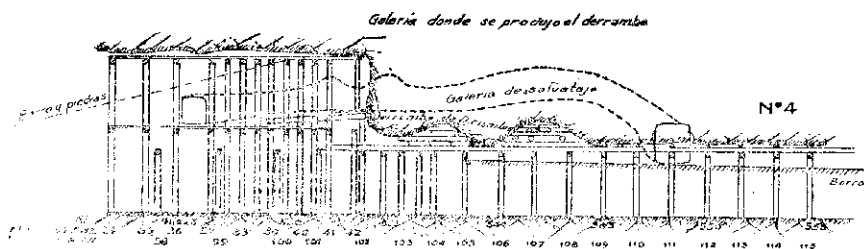
ESTADO EN QUE SE ENCONTRABAN LOS TRABAJOS EN EL MOMENTO DEL ACCIDENTE

El día 17 de Mayo, fecha en que se produjo el accidente, la galería de avance estaba en el Km. 42.220, o sea, a 1.111 metros de la Boca Norte.

En el plano se indican los ensanches y rebajes hechos y se ve que hasta el

Km. 41.530 estaba hecho el ensanche, que hasta el Km. 41.560 había marcos altos cuyos postes tenían 3.50 m. de alto, y desde el Km. 41.560 hasta el 41.639 había marcos bajos de 2.80 m. de alto; desde el 41.637 hasta el 41.655 estaba el 4.º ensanche.

ACCIDENTE.—El accidente se produjo a las 11 de la mañana del 17 de Mayo en el momento en que pasaba hacia el exterior el tren con desmontes, compuesto de 15 carros. El palanquero Segundo Parra, que venía en el primer carro, se había bajado para arreglar el desvío y, viendo que el convoy no avanzaba, miró hacia atrás y vió ya que una cantidad de agua y barro había tapado el tren y se escurría hacia adelante, por lo cual corrió hacia el exterior a dar cuenta de lo ocurrido.



SE ORGANIZA EL SALVATAJE.—El Administrador y Director de todas las faenas del túnel que es el señor Mario Valenti; hacía dos días se encontraba en Santiago, quedando a cargo de las faenas de Boca Norte el ingeniero de la Universidad de Chile, don Bartolomé Pinilla, quien tiene como ingeniero ayudante al señor Luis Carrera.

La Dirección de Obras Públicas está representada en las faenas por el ingeniero señor Angel Zanghellini, que tiene a sus órdenes, como inspector de obras, al señor José Santos Quiroz, y un contador, señor Antonio Yanssen.

Reunido el personal directivo, señores

Zanghellini, Pinilla, Carrera y el contratista de ciertas labores de perforación, señor Alejandro Sörensén, se acordó tratar de reconstruir la galería a través del derrumbe; se cortó lo más al interior posible la cañería de ventilación y la del agua con el fin de comunicarse con el interior por medio de voces y golpes; pero no se obtuvo ninguna respuesta.

La sección de la parte ensanchada, desmontando la enmaderación, se estimó en 38 m²; el material alcanzó, relleno toda la sección hasta 5 metros del punto en que terminaba el ensanche, prolongándose en el piso gradualmente hasta unos 13 metros más adelante y

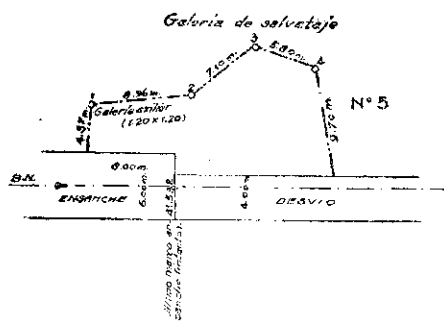
después, en la galería baja, hasta unos 65 metros. Se consideraba que este volumen sería unos 1,500 metros, quedando unos 500 metros de material, que se supuso había rellenado la galería interior con sección de unos 10 m² libre, hasta unos 25 m. del marco alto; el resto se había extendido hacia el exterior.

Como he dicho, en el primer momento se pensó en reconstituir la galería de avance a través del derrumbe, y al efecto se inició la limpia para alcanzar lo más próximo posible del derrumbe.

Por otra parte, la suposición hecha anteriormente nos indicaba que la galería iba a ser muy larga, pues el material en la parte baja se extendía mucho.

Con algún fundamento se temía que los marcos de la enmaderación se hubiesen quebrado y entonces la realización de la galería baja habría sido muy difícil, sin desconocer el peligro que entrañaba este trabajo, en realidad se ha comprobado que los marcos hasta ahora descubiertos están intactos.

Por estas razones se decidió ejecutar una galería de emergencia lateral, ubicada a la altura del piso de la galería alta, y se estimó suficiente internarse en el cerro unos 4 m., continuando paralela-



mente al eje del túnel unos 20 metros, es decir, hasta pasar unos derrumbes que se habían producido en Diciembre, cuando se hacía la galería de avance, con lo

cual se suponía pasado el reciente derrumbe.

Se reforzaron los marcos para garantizar la estabilidad de ellos y dar seguridad a la gente; se limpió un poco el terreno y se fijó la apertura de la galería auxiliar a unos 8 metros del último marco (N.º 41) del ensanche, el cual estaba en parte a la vista.

A las 8 de la noche del 17 se dió principio a la perforación de esta galería, a la que se fijó como conveniente una longitud, en el sentido paralelo del eje, de 22 metros, previéndose con esto que el derrumbe habría sido pasado, de manera que, en total, la galería prevista tendría 30 m. de largo, con una sección de 1 X 1.20 m., para perforar la cual se necesitarían unas 50 horas, con un avance medio de 60 cm. por hora, por lo tanto, debía estar terminada esta faena el Jueves 19 a las 10 de la noche.

Cuando se llevaban unos 7 metros avanzados en la dirección del túnel, se empezó a notar humedad en la roca y se vió que estaba partida, por cuyo motivo, cuando se llegó al punto 2 (fig. 5), se resolvió internarse aún más hacia el cerro, a fin de evitar accidentes.

En cuanto a los niveles adoptados, se consideró la conveniencia de terminar la galería de manera que el piso de ella saliese cerca del cielo de los marcos de la galería de avance.

Si se hubiese hecho la galería de emergencia de manera que saliera a la altura del piso, se corría el peligro de que el agua, que se prevenía llenaba por completo la galería de avance podría inundar violentamente la galería de emergencia y poner en serio peligro al numeroso personal que trabajaba en la pequeña galería de salvataje.

El trabajo de la galería de emergencia se hacía con cuadrillas que se cambiaban cada tres horas, con una perfora-

dora a mano (guagua); se hacían 6 a 8 barrenos de más o menos 1.20 m. de longitud que se hacían explotar; se ventilaba en lo posible abriendo las llaves de la cañería de aire y los paleros, colocados uno al lado del otro, corrían los escombros hacía el exterior. Dentro de un turno se alcanzaban a veces a efectuar dos perforaciones.

En los primeros 10 m. se mantuvo un avance de 0.70 m. por hora, rendimiento que disminuía a medida que se iba más hacia el interior.

Debido a la desviación hecha en el punto 2, la galería se alargó hasta tener en definitiva 36 metros, y cuando se iba en el punto 4, en que se volvió francamente en busca de la galería de avance, se previó que ésta debería ser alcanzada a las 5 de la mañana del 20 de Mayo.

Cuando se estaba en el punto 3 se hizo una comprobación de la dirección de la galería y de sus niveles, lo que demoró como media hora. Creo anotar como dato curioso que algunos obreros protestaron por la pérdida de tiempo que originaban estas operaciones, y fué necesario explicarles que era preferible perder algunos minutos en nivelar y medir, pues con esto se ganaban horas en el trabajo. Cuando faltaban unos 3.50 m. para romper, se puso un barreno de sonda de 4 m. de largo, el que dió en el vacío; eran las 5.30 de la mañana. A través del barreno no se notó ninguna corriente de aire ni nada que hiciera presumir que la presión en el interior del túnel se había alterado.

Se procedió en seguida a perforar los 3.50 m. que quedaban, tarea que se terminó como a las 8 de la mañana; en este momento se pudo ver que el agua estaba a unos 15 cm. más abajo del marco, es decir, había unos 2.70 m. desde el piso.

Con este conocimiento ya nos formamos la certidumbre de que los obreros no podían haber sido ahogados por el

agua y que deberían estar en el ensanche siguiente, del cual nos separaban aún unos 90 metros.

Con anterioridad se había pedido a Curacautín la bomba que posee el Cuerpo de Bomberos de ese pueblo, la que había llegado al Campamento como a las 8 de la noche del 19, y se había solicitado además, de los FF. CC. del Estado, una bomba centrífuga de 6 pulgadas, que venía en camino.

La cantidad de agua y material que se había acumulado detrás del derrumbe podría estimarse en unos 4.500 m³ y había subido 2.7 m. en 68 horas, o sea, 4 cm. por hora, lo que daba como afluencia de agua en el interior unos 66 m³ por hora, o sea, 1.100 litros/min.

La bomba de Curacautín, según los bomberos que se habían trasladado entusiasta y abnegadamente con ella hasta Boca Norte, daba un gasto de 1.000 litros por minuto, por lo tanto, trabajando continuamente sólo impediríamos la subida del agua; la bomba inició su trabajo como a las 4 de la tarde y trabajó sin tropiezo hasta las 9 de la noche, en que se inició con fuerza la evacuación del agua por la cañería de ventilación.

Cuando se conoció la altura a que llegaba el agua, pensamos como una medida extrema que con buzos podríamos avanzar los 90 metros que nos separaban del ensanche, donde suponíamos estuviere la gente y nos podrían decir en qué estado se encontraban, llevarles algunos alimentos y levantarles el ánimo para que esperaran aún más tiempo, por cuyo motivo se pidieron los buzos como un recurso casi desesperado.

Estudiada la nueva situación producida, se consideró dos soluciones:

1.º) Rebajar el piso de la galería de emergencia hasta permitir el desagüe. Con esto podríamos evacuar el agua hasta 60 cm. más bajo que el sombrero

del marco de la galería baja, para lo cual era menester extraer unos 73 metros cúbicos de material, que ahora se podría hacer en unas 30 horas, o sea, demoraríamos desde las 12 del día 20 a las 6 de la tarde del día 21.

2.º) Tentar romper el cañón de ventilación que se suponía libre a través del derrumbe, pues estimamos que los carros decauville que quedaron aprisionados por el derrumbe pudieron librarlo de ser aplastado, y que sólo estaría obstruido más adelante, pues aun cuando se había sondeado por el lado exterior introduciendo cañones de aire comprimido, no había dado resultado y evacuaba intermitentemente sólo pequeñas cantidades de agua.

Como esta idea, aunque menos segura, podría llevarnos a una solución más rápida, se postergó la solución primera para el caso que la tentativa 2 no diese el resultado que esperábamos, es decir, evacuar el agua por la cañería de ventilación.

Se inició, además, una pequeña pasada por encima de los marcos y se alcanzó a pasar unos 7 de ellos. Mientras tanto el agua seguía subiendo en el interior y había aumentado hasta tapar los sombreros de los marcos.

A las 6 de la tarde se pudo romper cerca de la salida de la galería de emergencia la cañería de ventilación, haciendo descender algunos cartuchos de dinamita, que una vez explotados, debían romper la cañería.

En efecto, momentos después empezó a salir agua con cierta abundancia por la cañería de ventilación; pero siempre con intermitencias; entonces se volvió a sondear por el lado afuera del derrumbe con una cañería con aire comprimido, saliendo el agua con gran cantidad de arena y piedrecillas. Se siguió sondeando hasta meter 7 tubos de 5 m. cada

uno. Después de un trabajo de un par de horas, en que también se sondeó con aire comprimido por el interior del túnel, la cañería se destapó, saliendo el agua con fuerza y en abundancia como a las 9 de la noche. Se calculó que el gasto que se escurría sería de unos 600 litros por segundo, o sea, para evacuar los 4.500 m³ acumulados se necesitarían dos horas; suponíamos, con fundamento, que se había terminado la faena y sólo era cuestión de esperar el tiempo necesario para que se evacuara el agua.

En este momento se dió aviso de que ya no eran necesarios los servicios de los buzos, los que ya venían de Talcahuano en tren especial y se trató de detenerlos en Victoria, a donde aún no habían llegado.

Mientras se escurría el agua se hizo preparar lo necesario para atender a los obreros accidentados y entraron a la galería los médicos, practicantes y todos los elementos para el salvataje: camillas, frazadas para abrigo, etc.

Como a las 12 de la noche del 20 el agua que se escurría disminuyó, y el personal que estaba en la boca de la galería de emergencia se pudo dar cuenta que, desgraciadamente, había todavía gran cantidad de agua y barro que impedía el acceso hacia el ensanche 4.

Desgraciadamente, la cañería de ventilación, en lugar de estar en el piso de la galería, estaba levantada, sólo separada unos 60 cm. del sombrero de los marcos; se supone que la cañería flotó con el agua y se levantó del piso.

Se procedió, entonces, a formar un canal que permitiese el escurrimiento de la masa semi-flúida, que con gran dificultad se hacía llegar hasta la boca más baja de la cañería de ventilación. Este trabajo era sumamente penoso, pues sólo habían unos 40 cm. libres entre el nivel del agua y la parte inferior del

sombrero y sólo podían trabajar pocos hombres por el espacio reducido.

Todavía eran necesarias unas 4 a 5 horas de trabajo antes que fuese posible rebajar el nivel del líquido por debajo de los marcos bajos que habían entre los Kms. 41.560 y 41.640, es decir, para llegar al ensanche 4, donde preveíamos que se encontraba la gente.

En este momento, y un poco contrariados por la nueva dificultad presentada, salimos del túnel como a la 1½ de la madrugada del 21, pensando en la manera más rápida de subsanar esta dificultad, quedando en el interior a cargo de la dirección de las faenas el ingeniero Pinilla, que en todo momento estaba el primero en las partes difíciles y peligrosas, secundado por sus ayudantes señores Carrera y Dumond.

No había pasado una hora desde que con el señor Valenti habíamos salido del túnel y nos habíamos dirigido al campamento para cambiarnos ropa, pues estábamos completamente mojados por habernos caído en uno de los innumerables hoyos que el agua cubría, cuando, con grandes voces de alegría, nos avisaron que habrían logrado comunicarse con los obreros encerrados, y manifestaron que estaban todos vivos.

No supimos cómo nos trasladamos al interior del túnel y ya encontré a los primeros salvados que recibían de un practicante, en la galería de emergencia, los primeros auxilios médicos, colocándoles inyecciones de caféina, mientras un poco más afuera el Dr. Socías les reconocía y ponía a los que necesitaban otra inyección de alcanfor, proporcionándoles además algunas cucharadas de café caliente.

La mayor parte, apoyados por sus compañeros, seguían viaje al exterior, llevándolos en los carritos decauville hasta afuera. Sólo a unos 4 o 5 fué necesario llevarlos en camilla.

En el campamento se había preparado el teatro para la atención de los accidentados, donde el doctor residente en las faenas, señor Pacheco, tenía preparadas numerosas camas y una buena estufa que mantenía temperado el ambiente; además un gran fondo de café estaba listo. El Dr. Pacheco, secundado por los practicantes, atendía a los accidentados procediendo a hacer masajes y fricciones; se les proporcionaba ropa seca, y pocos momentos después la conversación con amigos y parientes era general y no se distinguía salvadores de salvados. Esa noche la mayor parte se fueron a sus casas, después de recibir del Doctor recomendaciones respecto a la alimentación.

A las 3 de la mañana el salvataje estaba terminado; a las 6 ya no quedaba en el teatro-hospital sino unos 6 obreros que prefirieron dormir allí, dando por terminado en ese día nuestro trabajo.

Para la noche se preparó una función gratuita de biógrafo y sainetes cómicos por un grupo de aficionados de entre los mismos trabajadores, que reían de buena gana, olvidando en parte las penurias pasadas.

La Empresa proporcionó algunos cordeles y una vaquilla que los propios obreros asaron, y terminó la fiesta con el lunch y baile entre los obreros.

Antes de entrar a ocuparme de explicar los antecedentes del derrumbe, quiero dejar constancia que el éxito de tan difícil tarea se debe a la unidad de acción entre los dirigentes y al verdadero heroísmo y abnegación no sólo de los trabajadores del túnel, sino a la cooperación general de los que directa o indirectamente prestaron sus servicios. Podíamos citar al señor Intendente de la Provincia, que se trasladó al túnel desde los primeros momentos, al Cuerpo de Bomberos de Curacautín, que no sólo envió sus elementos sino que llegaron ellos mismos

hasta las faenas a ofrecer sus servicios; a los Ferrocarriles del Estado que puso con todo empeño sus elementos al servicio del salvataje, y así todos y cada uno contribuyeron a evitar lo que pudo ser una gran desgracia.

Una palabra, además, para reconocer la eficiente organización que ha sabido dar a las faenas el señor Mario Valenti, sub-administrador del trabajo,

La máquina estaba montada para un cierto ritmo. En esta ocasión se le exigía una marcha mucho más rápida; pues bien, el organismo respondió ampliamente; cada uno en su puesto desempeñaba la tarea que se le asignaba. A los trabajadores se les señalaba con dos o tres turnos de anticipación el que le correspondía, indicándose qué paleros, perforistas, electricistas, herramienteros, etc. debían entrar; por ejemplo, en el turno de las 6 de la tarde se indicaba quienes entrarían a las 9 y a las 12.

Se indicaba, además, qué personal quedaría cerca de la boca del túnel en espera de que sus servicios fueran solicitados para un caso extraordinario.

No había confusión y todo estaba admirablemente organizado. Voy a citar un caso: He dicho antes que se instaló la bomba de Curacautín y que funcionó regularmente; es necesario tener presente que instalada la bomba en el piso alto, a unos 15 metros de la boca de la galería de emergencia, era necesario aspirar el agua a unos 50 metros de ella; la bomba iba provista de 9 chorizos de 4 pulgadas, de unos 2 metros cada uno, entonces fué necesario preparar cañería de 6" de la que se emplea para el aire comprimido. que era de lo que se disponía, cortar muchos tubos a fin de adaptarse a la galería, que era sinuosa y, por fin, reducir el empalme a 4" para conectar con los chorizos de aspiración de la bomba. Gran parte de este trabajo se preparó

afuera, soldando eléctricamente los cañones y codos, y cuando fué necesario hacer funcionar la bomba fué cuestión de poco tiempo ponerla en trabajo.

De manera que los honores de la jornada pertenecen principalmente al señor Valenti, como organizador y a los Ingenieros Pinilla, Zanghelini y Sörensen, como iniciadores del trabajo y principales actores en él. Los demás, desde el Director y representante de la firma contratista, señor Fernando Lavenás, hasta el último obrero contribuimos, como he dicho, cada uno en su esfera, al éxito de la jornada, que le corresponde a todos, pues cada uno rivalizaba por cumplir en la mejor forma la tarea que se le encomendara.

Ahora, algunas palabras para establecer si era posible prever el accidente que nos ocupa:

Ya hemos visto la opinión del profesor Brügger, que predecía una roca dura, como realmente se encontró.

El Supremo Gobierno encomendó a los ingenieros señores Ruperto Echeverría y Ricardo Fenner, un estudio que considerase las posibles causas del accidente, las medidas tomadas por los ingenieros que dirigían las obras y las medidas que esta Comisión cree deben tomarse para evitar un nuevo accidente.

En un informe preliminar que han presentado estos ingenieros, algunos de cuyos puntos se copian en el anexo, estudian las posibles causas del accidente y modifican un poco el perfil teórico que señaló el doctor Brügger, manifestando que al formarse los valles glaciales, el lecho de las porfiritas quedó, por la acción de las nieves, en forma ondulada, que al ser rellenadas posteriormente por los terrenos de acarreo de la época post-glacial, formaron oquedades o lagunas que se cubrieron posteriormente con se-

niza volcánica y, por fin, con la capa vegetal actual.

Todo este terreno es muy permeable y las aguas descansan sobre el terreno impermeable formando verdaderas lagunas.

Al perforar el túnel, parece que se ha acercado a la capa-límite de las porfiritas, lo que ha producido filtraciones a través de las fallas de la roca. En el kilómetro 41.330 se produjeron abundantes filtraciones y aún se encontró algunos rodados, por cuyo motivo se revisió esta parte y no ha habido nada que observar.

Otro punto en que han habido filtraciones es en el Km. 41.425, por lo cual no se ha hecho ensanche en esta parte, en espera de hacer previamente el revestimiento de las partes contiguas.

En la parte en que se produjo el derrumbe habían filtraciones aunque no abundantes. Se había notado, además, que el cerro cargaba, por lo cual se retipieron los marcos, y aunque todavía no se sabe de cierto, se estima que el boquete que se abrió fué entre el marco alto N.º 42 y la galería de avance y que sólo tendrá unos cuatro metros cuadrados (lámina II).

Por esta abertura se precipitó la masa semifluida de agua, arena, rodados, etc., que inundó la faena. Estimo que no ha habido forma de saber si el espesor de la roca era o no suficiente para resistir la presión de agua, ya que no conocemos la altura de la napa acuífera ni el espesor de la capa de rocas.

Se ha dicho también que una de las causas del accidente es la de haber empleado en las enmaderaciones madera de coigüe, que es de mala calidad. Según datos de la Comisión que estudia las maderas chilenas, el coigüe tiene, en cuanto a resistencia a la flexión estática paralela a las fibras o al cizalle, ya sea paralelo a las fibras o perpendicular a ellas y a la

compresión o a la tracción, cifras muy semejantes al roble pellín, considerado como buena madera.

En efecto, las cifras para la flexión del coigüe a la ruptura, dan 540 kg/cm² y las del roble, 590 kg/cm². Las de compresión paralela a las fibras en el coigüe, 330 kg/cm², y en el roble, 370 kg/cm², de manera que esta crítica no tiene razón de ser.

COSTO DE LAS OBRAS.—En cuanto a los gastos, puede asegurarse que el contrato quedará encuadrado dentro del presupuesto, pues una de las partidas de gastos importantes es el consumo de explosivos; el contrato prevee gastar:

En galería de avance, 3 kg/m³ extraído, y se ha gastado 2,050; en ensanche se previó 0,5 kg/m³ extraído, y se ha gastado 0,360.

Igualmente, el acero gastado es menor que el previsto, pues sólo se ha gastado 0,161 kg/m³ extraído.

Estos datos corresponden al promedio de consumos en los meses corridos del año 1932.

El gráfico que sigue indica la marcha general del trabajo indicándose el valor de los trabajos hechos, la longitud perforada en galería de avance y en ensanche.

El otro gráfico indica un facsímil de los estados diarios de trabajo, en que se señala la distribución de la gente que trabaja en el túnel, el avance habido, el gasto de materiales, etc.; mensualmente se reúnen estos datos en una sola hoja y de esta manera se lleva un control exacto del trabajo.

Espero que con los datos expuestos, se habrán dado cuenta los lectores de las condiciones en que se trabaja en el túnel, y que el accidente ocurrido fué estrictamente fortuito e imposible de preveer.

Santiago, Junio 2 de 1932.

DIRECCION GENERAL DE OBRAS
 Públicas
 Depto. Ferrocarriles
TUNEL DE LAS RAICES

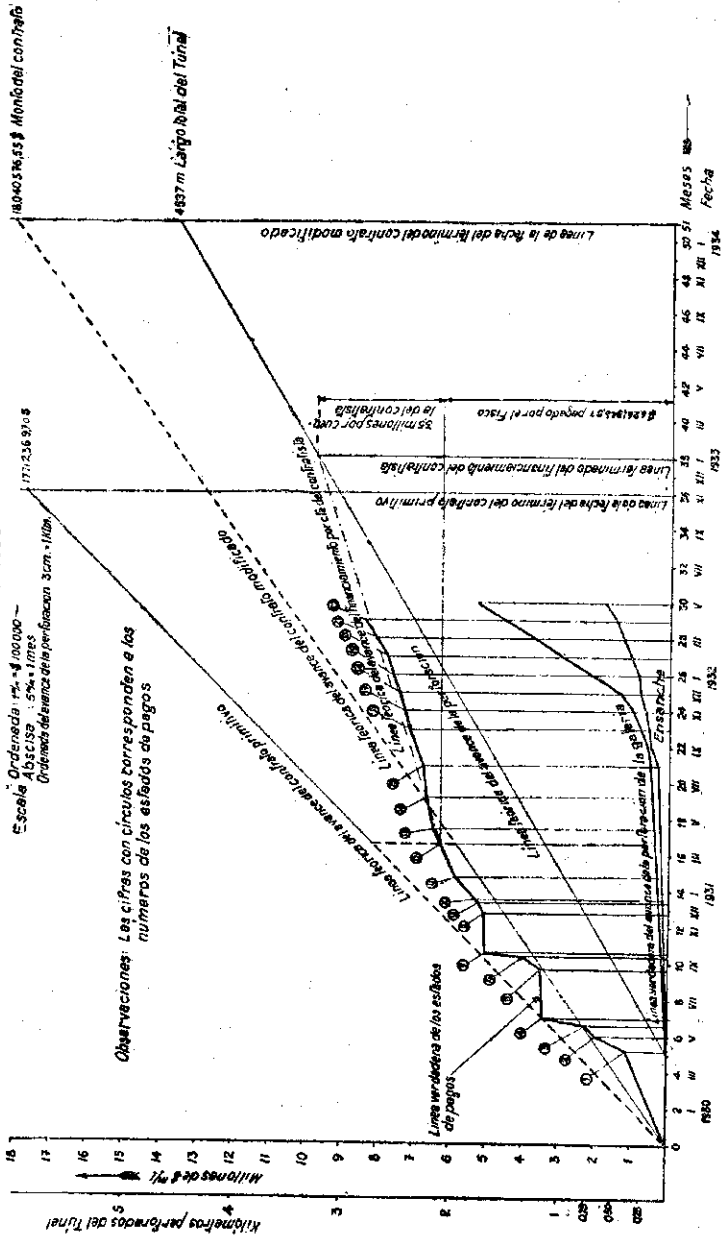
H. Hellmuth

AVANCE DE LA OBRA
 Y

SITUACION DE LOS ESTADOS DE PAGOS

Escala: Ordenada 1% = \$ 100.000 —
 Abscisa 5% = 1 mes
 Ordenada del avance de la perforacion 3 cm = 1 litro

Observaciones: Las cifras con círculos corresponden a los números de los estados de pagos



COPIA

RESUMEN DEL INFORME EVACUADO POR LA COMISIÓN NOMBRADA POR DECRETO N.º 837 PARA INVESTIGAR LAS CAUSAS QUE MOTIVARON EL DERRUMBE EN EL TÓNEL DE «LAS RAÍCES»

a) *Posibles causas que motivaron el accidente*

1.º El túnel atraviesa capas porfiríticas del terciario, de resistencia suficientemente grande, aún en las zonas atravesadas por fallas, para que la enmaderación corriente permita contrarrestar, sin mayor dificultad, las presiones engendradas por las rocas.

2.º La enmaderación se reforzó, disminuyendo el espacio entre los marcos en los puntos en que las fallas, cortadas por el túnel, habían agrietado las rocas, produciendo los característicos espejos de fallas provistos de arcillas de resistencia nula.

3.º El derrumbe se produjo en el lugar en que termina la sección definitiva del túnel y empieza la galería de avance (véase croquis adjunto, parte hachurada) por lo cual no podía haberse hecho un revestimiento, ya que aún no se tenía la sección definitiva.

4.º En el lugar en que se produjo el gran derrumbe se había producido con anterioridad un pequeño derrumbe en el ala derecha del túnel, que había sido encañillado y reforzado convenientemente. Debido a que algunos sombreros y vigas de los marcos definitivos se habían quebrado, debiendo reponerse, se sabía que en ese punto las presiones eran mayores que en el resto del túnel.

5.º Los marcos de la galería de avance, inmediatos al derrumbe, demostraban también encontrarse a presión superior a la observada en el resto del túnel, por

la cual la Empresa colocó marcos entre los primitivos y reforzó a los últimos para prevenir accidentes.

6.º El martes 17 de Mayo, a las 11.30 A. M., los operarios Ramón Gajardo Vergara y Marcelino Espinoza, estaban ocupados en terminar de enmaderar el marco 42, para lo cual retiraban partes sobresalientes de la roca, en el ala derecha, mediante cuña y combo. Ambos operarios declaran haber visto salir un chorro de agua turbia en el frente, entre el marco definitivo y el marco de la galería de avance, en la región indicada en la figura adjunta mediante hachurado oblicuo. Posteriormente se constató que en ese punto se había producido el gran derrumbe.

7.º La observación directa del material caído dentro del túnel, igualmente que el cálculo del volumen del tronco de cono formado en la superficie, permiten asegurar que el material removido asciende de unos 2.000 a 2.500 metros cúbicos.

8.º El talud natural del material en el interior del túnel permite deducir que las arenas, rodados de río y arcilla, que componen a los escombros que en la actualidad se encuentran en el túnel, estaban saturados de agua.

9.º La presencia de un gran bloque de granodiorita que se encontró entre las arenas y cuyas caras manifestaban las rayas características de la erosión glacial, permite asegurar que a una distancia no superior a tres metros de la parte superior del túnel, se encuentra el fondo del lecho de un ventisquero de la época glacial, que en una región de unos doscientos metros, medidos según el eje del túnel, profundizó su cauce (debido probablemente a las numerosas fallas que atraviesan a la porfirita), a una profundidad mayor que a la manifestada por las rocas porfiríticas, que pueden observarse

a orillas del río Agrío y en las cercanías del túnel.

10. El túnel ha cortado y desaguado parcialmente la laguna glacial rellenada, una vez que desapareció el ventisquero de la época post-glacial por arenas y rodado del río Agrío y afluentes. El espesor de la roca que separa al fondo de este lago, del túnel, no excede en algunos puntos de tres metros; siendo por lo tanto, debido a las fallas que lo atraviesan, insuficiente para resistir la presión del agua subterránea estancada y la de las arenas y rodados que rellenaron este lago, igualmente que aquella engendrada por las cenizas volcánicas que cubren el material de acarreo mencionado.

11. El terreno mencionado que cubre al túnel en la región peligrosa (200 metros aproximadamente), es tan permeable que las aguas lluvias se infiltran totalmente produciendo en la actualidad, por efecto del rozamiento, variaciones en el nivel de la laguna subterránea, el cual mostrará conos invertidos en los puntos en que esta laguna es desaguada por el túnel. (Derrumbe grande, derrumbe chico) que se encuentra a ochenta metros del anterior y grietas situadas a cien metros del interior del túnel, contados desde el derrumbe).

12. El accidente no pudo haberse previsto, pues un riachuelo, al desembocar

en el Agrío, a 150 metros de la boca del túnel, (río arriba), forma una cascada cuya cota superior se encuentra a treinta metros encima del cielo del túnel, por lo cual se supuso, aceptando una pendiente de 2%, que el espesor de la roca encima del túnel ascendería a unos 36 metros, espesor suficiente para proteger al túnel.

13. Un mes antes que se produjera el derrumbe grande a ochenta metros del primero, el cual rompió el fondo del valle pero que no tuvo mayores consecuencias debido a que el agua se había escurrido a través de grietas que se habían formado previamente. Si en el segundo derrumbe se hubieran producido grietas suficientemente grandes, un mes antes que se produjera el mismo, el túnel habría cortado capas de arenas desaguadas, con lo cual el derrumbe no habría excedido de algunos metros cúbicos que no habrían obturado totalmente al túnel y que, por lo tanto, habría sido vencido tal como se ha hecho en los múltiples derrumbes inevitables que se producen en esta clase de faenas, igualmente que en las faenas mineras. El hecho de que la primera comunicación con el lago subterráneo no produjera dificultades, hacía prever que las futuras comunicaciones con el mencionado lago tampoco lo harían, principalmente si se observa el perfil exterior dibujado en la figura adjunta.



E.C. TRANQUINO
POR
LONGQUIMAY

ESCALA 1:50,000

Luzon, Manila, P.I.

R. CAULIN

LAUTARO

TENUCO

PITROKUBEN

VICTORIA

R. CAULIS

R. CAULIS

R. CAULIS

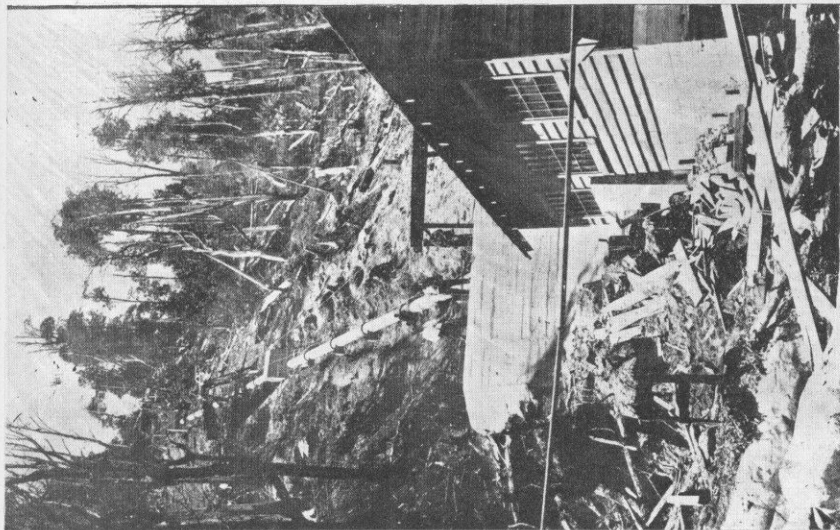
Cajon

Liristo

Virava

Chirivaco

Distrito de
Morobe



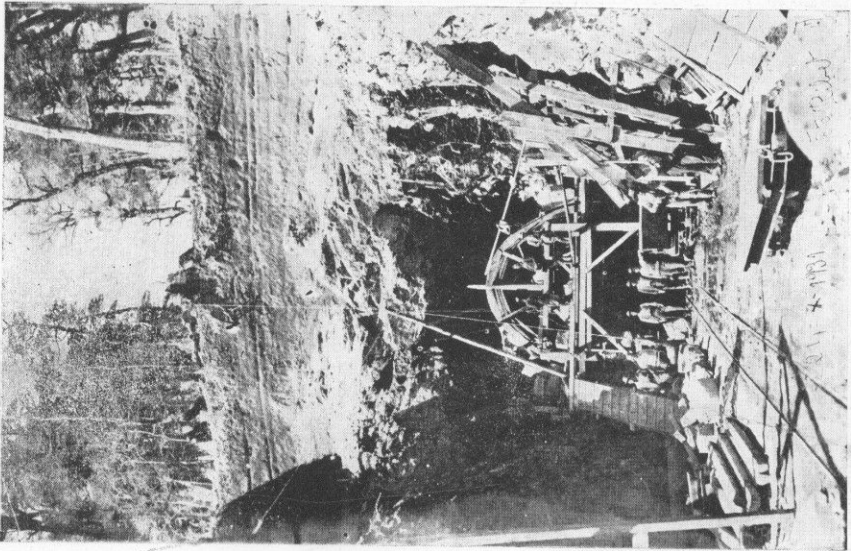
Fot. N.º 2

Boca Sur.—Planta hidro-eléctrica



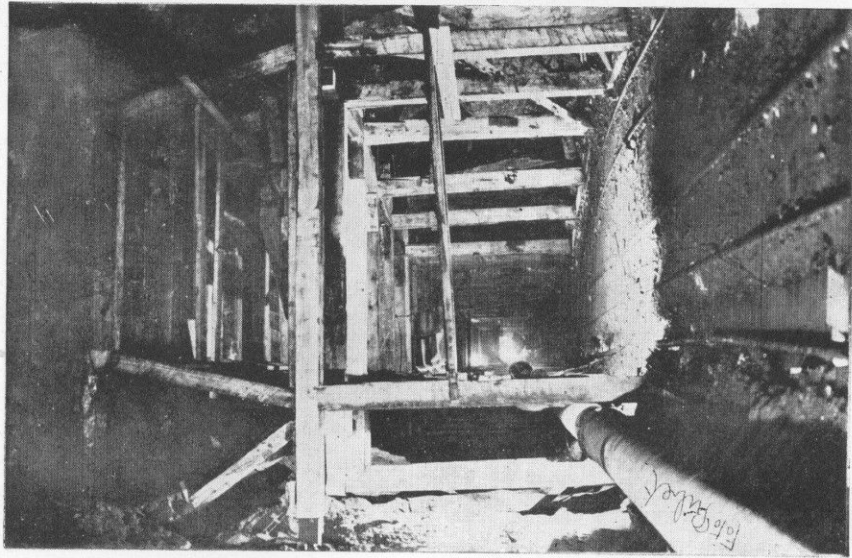
Fot. N.º 1

Trabajo de perforación en interior del túnel según sistema Americano



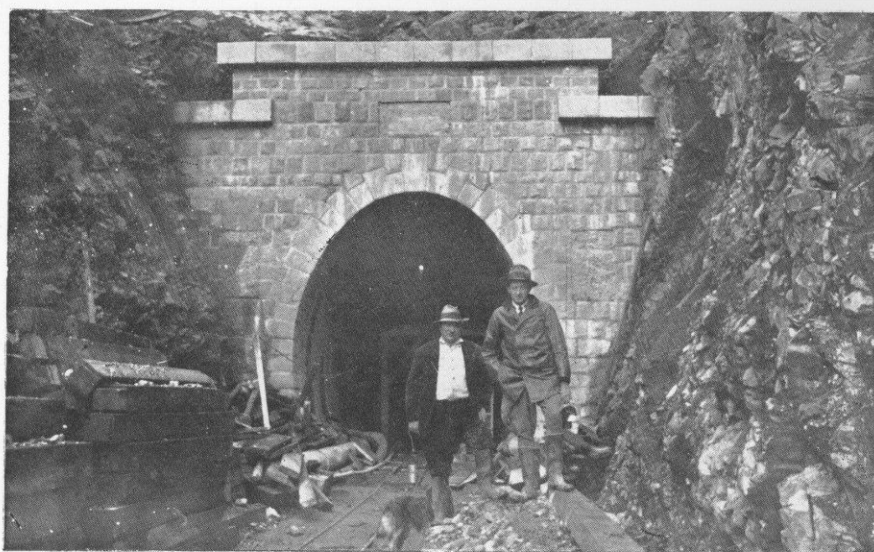
Fot. N.º 2 a

Boca Norte — Diciembre de 1931



Fot. N.º 3

Enmaderación en la parte ensanchada, Km. 41 300



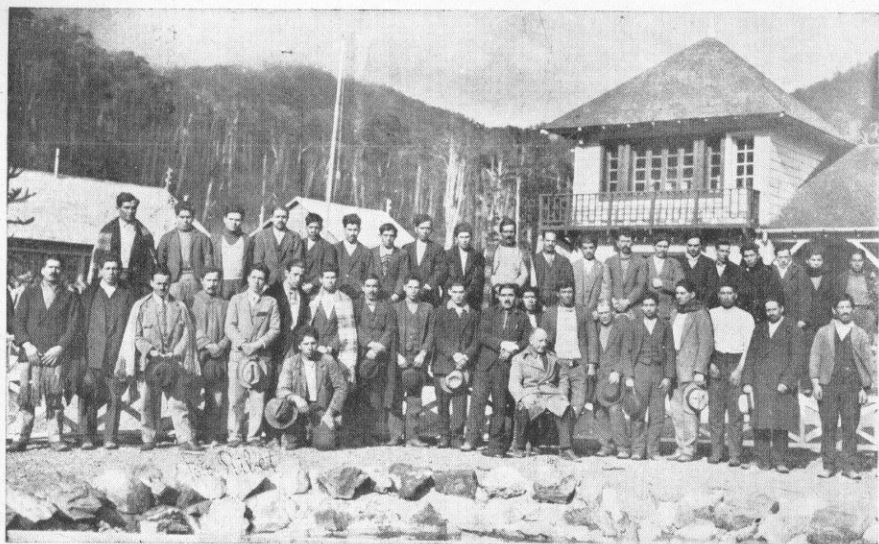
Fot. N.º 2 b

El Ingeniero de la Inspección Fiscal, señor Zanghellini, y el Sub-Constratista de la perforación, señor Soerense



Fot. N.º 4

Boca Norte.—Construcción de la boca

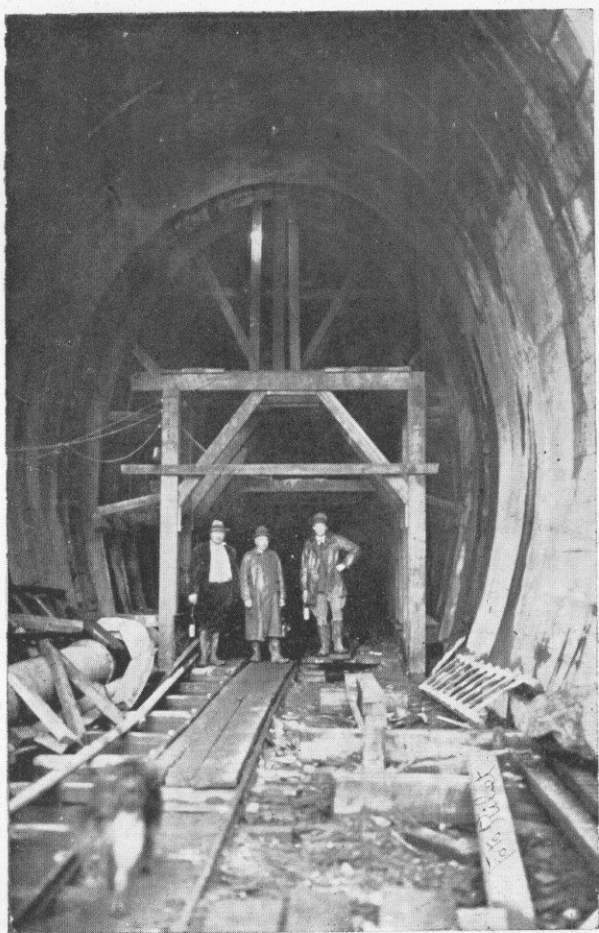


Fot. N.º 5

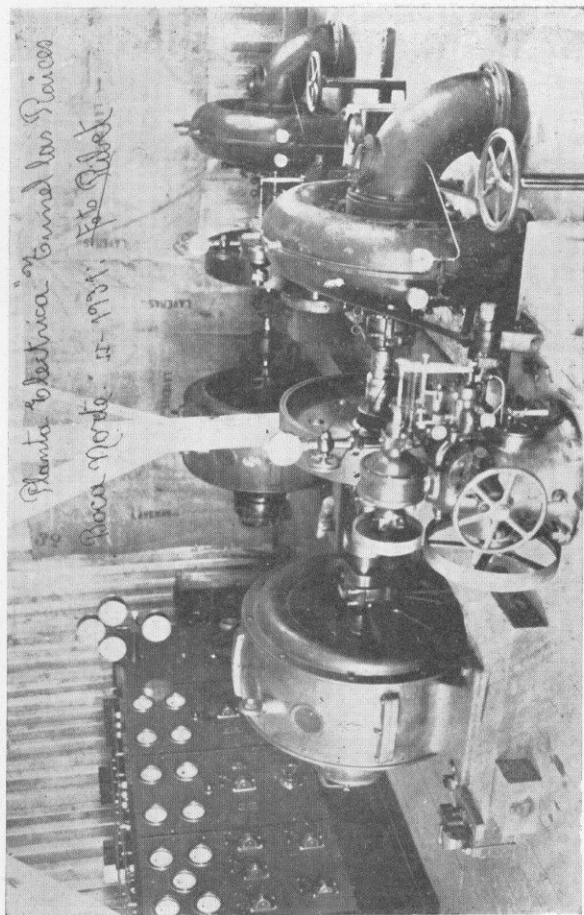
Personal salvado



Tren con locomotora eléctrica



Andamio empleado para el revestimiento



Boca Norte.—Casa de máquinas terminada