

Túnel de "El Arbol"

En el Ferrocarril de Alcones al puerto de Pichilemu

POR

ALBERTO DECOMBE

I.—Estudios

§ 1.—ANTE-PROYECTO.—LINEAS GENERALES DEL TRAZADO Y PRIMEROS ESTUDIOS.—Los primeros estudios para un ante-proyecto entre Alcones i Pichilemu fueron contratados por el Gobierno el año 1897 con el ingeniero don Domingo Víctor Santa María.

El trazado, en conformidad a este ante-proyecto, salía con gradiente de 2‰ desde Alcones hacia la quebrada de la Viña, donde hubo que consultar un pequeño túnel, para seguir por San Miguel hasta el cerro «El Arbol», que atravesaba con un túnel de 2.261,50 m de longitud. Desde allí hacia Pichilemu el trazado se desarrollaba por los faldeos de la quebrada de «El Puesto».

§ 2.—PROYECTO DEFINITIVO.—CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.—PRESUPUESTO.—Los estudios definitivos fueron hechos el año 1900 por el Ingeniero de la Direccion de Obras Públicas, don Ascencio Astorquiza, tomando como base el ante-proyecto Santa María. Despues de discutir razonadamente tres soluciones posibles, se resolvió adoptar la solución que ha servido para su construccion.

Los trabajos de topografía para precisar la longitud i condiciones del túnel fueron realizados, apoyándose sobre dos bases cuya longitud media se obtuvo por doble medida, teniendo un largo de 220,621 m i 164,192 respectivamente, con un error probable de 0,019 m para la primera i de 0,021 m para la segunda.

Se colocó primeramente estacones en la direccion del eje del túnel para que sirvieran de vértices a los triángulos, que dividieron la longitud total medida en cuatro partes i permitieron formar triángulos de forma conveniente para el cálculo. La apre-

ciación de la lectura de los ángulos se llevó solamente al medio minuto. El lado máximo calculado sólo para comprobación fué de 1560,372 m, pero en realidad el lado mas largo no fué sino de 908,139 m. Esta triangulación permitió fijar el largo total entre los extremos de la recta, que alcanzó a 2356,59 m. La triangulación i la nivelación no presentaron mayores dificultades.

El eje del túnel se fijó en el terreno por medio de tres monolitos de albañilería, uno en la cumbre, otro a 200 m de distancia de la boca Oriente i el tercero a 150 m de la boca Poniente; se fijaron además otros tres monolitos secundarios, dos al lado Oriente i uno al lado Poniente. Todos ellos fueron contruidos de albañilería de piedra con mezcla de cemento i la dirección quedó indicada por una punta de fierro calada en la albañilería. La lámina I contiene el plano jeneral del estudio.

El Inspector Jeneral de Ferrocarriles de aquella época, señor Eleazar Lezaeta A., estimó que, por tratarse de una obra de gran importancia, era conveniente rectificar los cálculos i operaciones del terreno realizado por el ingeniero señor Astorquiza, i, al efecto, designó una comisión compuesta de los distinguidos ingenieros señores Eduardo Barriga, Carlos del Campo i Juan Taulis, que efectuaron dicha verificación.

La provision de materiales para el revestimiento i de víveres i elementos para las faenas fué desde el principio una cuestion de importancia. Piedra aceptable para el revestimiento no se encontró en el primer momento sino en la cantera El Sauce situada a 2 Km al N.O. de Alcones. Posteriormente se halló piedra de regular clase a 200 m de distancia sobre la boca Oriente i tambien en el interior del túnel, con la que se hizo el revestimiento en su mayor parte.

Las principales características técnicas del proyecto eran:

Trocha de 1,68.

Todo el túnel en recta.

Largo entre bocas 1 900 m.

Pendiente uniforme 2 por mil.

Cota de la rasante en la boca Oriente 333,33 m.

» » » » » » » Poniente 339,13 »

Se consultaba el revestimiento del túnel sobre un tercio de su longitud, dándole un espesor de 0,60 m, i una inclinación de 1/10 interior i esteriormente a los paramentos de los pies derechos. La figura 6 de la lámina número III representa el perfil trasversal del revestimiento dado al túnel en el proyecto.

El presupuesto, según el proyecto, alcanzó a la suma de \$ 1 700 000,00 moneda corriente. Este presupuesto incluía tambien los cortes i terraplenes de acceso en un desarrollo total de 1.456,58 m.

Las bases para la adjudicación fueron formuladas por el Inspector Jeneral de Ferrocarriles, señor Lezaeta.

No habiendo datos exactos para determinar la calidad de los terrenos por atra-

resar, se fijó para la perforacion un precio medio, variable sólo con las distancias a las bocas.

En Julio de 1900 se pidieron propuestas públicas para la construccion del túnel «El Arbol» sobre la base de precios unitarios i en un plazo de cuatro años corridos.

Las propuestas se abrieron el 31 de Agosto del mismo año, adjudicándose el contrato al señor José Pedro Alessandri, que fué el mas bajo proponente, quien se comprometió a ejecutar las obras por un precio de 20,1 % mas bajo que el presupuesto oficial.

§ 3.—ADJUDICACION.—El contrato comprendió:

- 1.º Perforacion del túnel.
- 2.º Revestimiento.
- 3.º Bocas.
- 4.º Cortes de acceso.
- 5.º Terraplenes adyacentes a los cortes.

Como se vé, no se incluyó la enrikladura ni el lastre, que deberian ejecutarse una vez terminados los trabajos desde Alcones a «El Arbol».

Como dato ilustrativo consignamos a continuacion la lista de los precios unitarios del presupuesto formado por la Seccion de Ferrocarriles:

I.—En la galeria de avance

En cualquier material:

Especificacion, excavaciones.	Precios unitarios en moneda co- rriente.
De 0,00 m — 200 m de las bocas.....	\$ 12,00
» 200 — 400 » » » »	14,00
» 400 — 600 » » » »	16,00
» 600 — 800 » » » »	18,00
» 800 — 1,000 » » » »	20,00
» 1,000 — adelante m de las bocas.....	22,00

II.—En el ensanche i estrozo

De 0,00 m — 500 m de las bocas.....	\$ 8,00
» 500 » — adelante.....	12,00

Albañilerías

- I. Albañilería de piedra, en [pies derechos i muros de contencion del lastre, con mezcla de 3 de arena por uno de cemento..... \$ 18,00

II. Albañilería de piedra en bóveda, con la misma mezcla; las piedras serán desbastadas a martillo para darles la forma de dovelas. El m ³	30,00
III. Albañilería de piedra desbastada, en los muros de frente de las bocas, con la misma mezcla. El m ³ .	18,00
IV. Albañilería de piedra (granito), tallada para las bocas, con la misma mezcla. El m ³	100,00
V. Albañilería de piedra en seco, para el relleno entre el revestimiento i el terreno natural. El m ³ .	4,00
VI. Chapa de 3 c/m de espesor con mezcla de 2 de arena por 1 cemento. El m ³	3,00
VII. Emboquillado, en paramento visto, con mezcla de 1 por 2. El m ³	1,50

Cortes i terraplenes de acceso

I. Escavacion en boca dura estraida con esplosivos. El m ³	\$ 1,50
II. Escavacion en cualquier otra clase de terreno. El m ³	0,60
III. Terraplenes de cualquier material. El m ³	0,30

La seccion de la galería de avance fué prevista de 2 m de ancho por 2 50 m de altura.

Las escavaciones del túnel se calcularon con 0,10 sobre el perímetro del galibo.

Se consultaba un precio de \$ 0,50 por m³ para la estraccion de los derrumbes que pudieran oriinarse en la parte terminada.

Para la confeccion de las mezclas fué impuesto el empleo del cemento de fragua lenta.

El contratista recibió en arriendo el material de perforacion que sirvió en el túnel de Cavilolen i ademas ocho perforadoras con sus accesorios, sistema New Ingersoll.

II.—Construccion

§ 1.—RECURSOS LOCALES I DIFICULTADES DE ACARREO I ABASTECIMIENTO.—Dada la ubicacion del túnel, a 11 Km de la estacion de Alcones i la falta de caminos locales, se comprende la serie de dificultades que hubo que vencer para el acarreo de los materiales, maquinarias, herramientas i tambien de las mercaderías para el aprovisionamiento.

La verdadera importancia de estas dificultades se pone de manifiesto cuando se considera que la naturaleza del terreno atravesado por el túnel hizo necesario el reestimiento en toda su longitud.

El cemento, la arena i la piedra, o sea las materias primas para las albañilerías, hubo que acarrearlas desde una distancia considerable por caminos que sólo podían ser traficados por mulas i burros. Casi toda la arena fué transportada a lomo de burros, en una distancia media de 3 Km para la faena del costado Poniente i de 5 Km para la del costado Oriente. Aun los contratistas tuvieron que labrar un camino sobre el cerro de «El Arbol» para el servicio de construccion.

§ 2.—INSTALACIONES.—PRIMERAS INSTALACIONES PARA HABITACIONES I ABASTECIMIENTO.—MAQUINARIAS PARA LA PERFORACION I VENTILACION.—RENDIMIENTO ECONÓMICO DE LAS MAQUINARIAS.—Conjuntamente con el camino de acceso a la boca Oriente, que no presentó dificultades, fué necesario que el contratista construyera habitaciones para administracion, para obreros, almacenes, proveeduría, bodegas para guardar los materiales i herramientas. Las casas para la inspeccion fiscal, policías etc., se construyeron por cuenta del Fisco. Todas las habitaciones se hicieron de madera i techo de fierro galvanizado.

Se empezó despues la instalacion de la maquinaria indispensable para la perforacion i ventilacion. A cada extremo del túnel se instaló una compresora de aire Phoenix con su motor a vapor respectivo. La figura 1 de la lámina IV es una vista de esta compresora.

Cada uno de estos motores de instalacion fija, trabajaba con una potencia de 30 HP. haciendo funcionar cuatro perforadoras New-Ingersoll i a veces cinco pero con dificultad. La figura 2 de la lámina IV es una vista de una de esas perforadoras instalada.

Los taladros usados fueron de cuatro clases: los primeros de $1\frac{1}{4}$ " tenían un largo de 0,60 m a 1,40 m i habrían agüjeros de 2" de diámetro; los segundos de $1\frac{1}{2}$ " tenían de 1,80 m a 2,00 m; los terceros de 1" tenían de 2,40 m i los últimos de $\frac{3}{4}$ " tenían de 2,40 m a 2,60 m.

Despues que el barreno habia penetrado de 0,30 m a 0,60 m era necesario cambiarlo habiendo sufrido un desgaste de 0,5 a 1 c/m.

El aire comprimido se almacenaba en un receptor de donde era conducido a las perforadoras por una cañería de fierro dulce de 4" de diámetro, con una presion de 65 lbs. Este receptor era hecho para resistir una presion de 300 lbs. Durante el trabajo solo soportó una presion máxima de 110 lbs.

El vapor que hacia funcionar la comprensa lo suministraban dos calderas del sistema tubular cuyo timbre medio era de 70 lbs., cuando funcionaban cuatro perforadoras, dando los volantes del motor 120 vueltas por minuto. El diámetro de estos volantes era de 1,60 m. El timbre de la caldera podia elevarse hasta 120 lbs. Con un timbre de 40 lbs. podia funcionar la compresora para la ventilacion que se hacia, soltando el aire en la galería de avance mientras se extraian los escombros.

El cilindro de vapor tenia 18" de largo, 14" de diámetro i la cañería de introduccion del vapor 3,5".

El agua usada en las calderas era de la vertiente de «El Arbol».

El rendimiento de las maquinarias era de 1,5 kilos de carbon por H. P.

§ 3.—MATERIALES DE CONSTRUCCION, ACERO, ESPLOSIVOS, CEMENTO, ARENA I PIEDRA.—Para la perforacion de 128,500 m³ se gastó 7 500 kilos de acero en barrenos i herramientas para el desmante, lo que da aproximadamente 0,0588 kilos de acero por m³ de desmante.

El esplosivo empleado fué la dinamita de las marcas Elefante, Sol i Nobel, costando \$ 42 término medio el cajon de 10 paquetes de 30 cartuchos cada uno.

Para la confeccion de las mezclas se empleó cemento Portland de las marcas Alsen, White Brothers, Dos Américas, Hércules i Hemmoor.

La arena para los trabajos del lado oriente se estraiía del estero San Miguel, situado a una distancia media de 3 km i en el lado poniente se sacaba de la quebrada La Parrilla, a una distancia de 5 km de esta boca. Esas arenas contenian cuarzo i mica, i eran tan sólo de regular clase, eran sucias i exijian un lavado. Su acarreo se hacia, la de San Miguel en carretas i a lomo de burros, i la de La Parrilla a lomo de burros solamente. Esta última costó \$ 4,50 el m³ término medio i la de San Miguel de \$ 3 a 4.

A 200 m de la boca oriente se encontró una cantera con piedra micasquítica con vetas de cuarzo de buena clase para las albañilerías, pero la mayor parte del revestimiento se hizo con piedra estraida del mismo túnel, de composicion análoga a la anterior. De ésta se escojieron algunos bolones de granito que se usaron para la piedra tallada de las bocas. El costo de la piedra fué: la de la cantera \$ 3,50 el m³ i por la estraida del túnel sólo se pagaba el gasto de eleccion.

Las enmaderaciones se hacian con roble de la frontera i las cerchas con álamo. Estas maderas se usaban sucesivamente hasta su completa inutilizacion.

§ 4.—PERFORACION.—GALERÍA DE AVANCE, ENSANCHE I ESTROZO.—POZOS.—DISTRIBUCION I PROFUNDIDAD DE LOS TIROS, CONSUMO DE COMBUSTIBLE.—ESTRACCION DE MATERIALES.—Se empleó el sistema de perforacion belga.

Despues de construir los cortes de acceso de ambas bocas de 36 996 i 22 713 m³ respectivamente para la oriente i poniente, se empezó la galería de avance por ambos lados del túnel con una seccion de 2×2,50 m, de la cual se perforó a mano 460 m por el lado oriente i 260 m/l por el poniente. El ensanche de esta galería en 720 m/l tambien se hizo a mano; pero para el ataque del resto del túnel se usó la perforadora.

Una vez lanzada la galería de reconocimientos adelante a distancia conveniente, se principió el ataque de los ensanches de la calota i del estrozo, de manera que estas últimas faenas se seguian a corta distancia una de otra a fin de facilitar en lo posible la estraccion de los escombros.

Conjuntamente con el ataque de los cortes de acceso, se empezaron en la boca oriente dos pozos de ataque intermedio a los 125 i 590 m respectivamente de esta boca. El primero debia tener una profundidad de 24 m hasta el piso de la galería

i el segundo una profundidad de 64 m. Con el primero se alcanzó a bajar 16,20 m i 10,90 m con el segundo. El primero sin embargo se continuó mas tarde, cuando hubo llegado a ese punto la galería de avance i sirvió para la ventilacion, en que se avanzó mas de 400 m sin recurrir a la ventilacion artificial.

La disposicion de los tiros i de los ensanches estraidos sucesivamente se vé en la figura 1 de la lámina III.

En el ensanche de la galería de avance se ponian de 14 a 16 tiros de 0,80 m a 1,50 m de largo. En algunos casos cuando el cerro se presentaba mui duro se les daba sólo 0,60 m.

Al centro de la galería de avance iban los tiros llamados de ranura número 1 en número de 3 a 5 inclinados de manera a formar las aristas de una pirámide truncada. Si el cerro era duro estos tiros se cargaban con 30 cartuchos de dinamita i se dejaba al interior un espacio vacío de 0,20 m, i si era blando sólo con 20 cartuchos dejando un vacío de 0,50 m. Todos los demas tiros de esta galería se cargaban con 15 cartuchos i si el cerro era blando sólo con 7. Estos eran: los números 2 colocados inmediatamente arriba de los de ranura i llamados de descarga; los números 3 colocados en la parte superior i llamados de corona; los números 4 llamados de paramento; los números 5 llamados tambien de descarga i por último, los números 6 colocados en la parte inferior i llamados zapateros.

Todos los demas ensanches en que se fraccionaba la seccion trasversal del túnel se atacaban con tiros que tenian mas o ménos un mismo largo que variaba de 1,80 m a 2,20 m i se les cargaba con 12 a 18 cartuchos i a veces con 25.

Entre éstos tenemos primero los de ensanche atacados con 3 a 5 tiros, los que se cargaban a un mismo tiempo, dejando la mecha de los tiros zapateros número 2 de 0,20 m mas larga que la de los tiros número 1 a fin de que esplotaran despues,

A continuacion se hacia el rebajo hasta completar la seccion de la calota: se sacaba primero el bocado central sobre un ancho de 3 m i a una distancia de 10 a 40 m mas atras se sacaban los laterales con 5 a 6 tiros. El bocado central se atacaba con 4 a 6 tiros dispuestos en hiladas horizontales. Cuando el terreno se presentaba mui duro se hacia previamente un tiro en la parte superior, llamado *chustana*, al que se le daba una inclinacion hácia arriba.

La perforacion del estrozo se hizo en toda la seccion a la vez: se atacaba primero el bocado central en dos escalones que seguian de 10 m mas o ménos i despues los laterales atacándolos por el frente i costado.

Los tiros de cada escalon del bocado central eran jeneralmente 7; el de la parte superior sólo se colocaba cuando el terreno era mui duro i los 6 restantes se disponian en dos hiladas horizontales. Los bocados laterales se botaban con 5 tiros.

Fuera de estos tiros de disposicion jeneral, se hacian muchos otros cuya disposicion i número dependia de las circunstancias en que se presentaba el terreno. Ademias, se hacian tiros llamados *cachorros* de 0,20 m a 0,40 m que se servian para completar la seccion de la calota.

La estraccion de los escombros se hacia para la galería de avance i los dos boca

dos laterales en carros volcadores de madera hasta la parte en que terminaba el rebajo de los bocados inferiores, donde se vaciaban en carros Decauville de $\frac{3}{4}$ de m³ que corrían a la altura de los arranques de la bóveda tirados por caballos. Estos carros recibían también los escombros de los tres bocados restantes de la calota e iban a su vez a vaciarse en los grandes carros de tumba de madera que se movían a la altura de la razante en todo el trayecto en que se había quitado el estrozo. Estos carros que extraían junto con los escombros anteriores los del estrozo e iban a vaciarse a los botadores o muelles distantes ménos de 300 m de las bocas, entraban a su vuelta los materiales para el revestimiento. Los hombres que sacaban este último carro se denominaban *marineros*.

§ 5.—ENMADERACION.—TIPOS USADOS.—NOMENCLATURA DE LAS PIEZAS.—La consistencia del terreno sólo exigió enmaderar la galería de avance sobre un largo de 730 m, 550 en la boca oriente i 180 en la poniente. Además en esas partes fué necesario enmaderar toda la sección de la calota.

En la galería de avance la enmaderación se hacía, como se ve en la figura 2 de la lámina número III. Se componía de marcos formados por un cabezal de sección cuadrada llamado sombrero, que descansaba en tornapuntas que eran rollisos de 0,25 m de diámetro, los que a su vez descansaban sobre tablonos de dos pulgadas de grueso. Estos marcos se distanciaban de 1,20 m a 1,50 m, distancia que se reducía hasta 0,80 m i ménos aun cuando el cerro se presentaba mui blando. Sobre estos marcos se lanzaba a medida que se iba avanzando en la perforación un entablado de tablonos gruesos que los llamaban *marchavantes*, de 2 pulgadas de grueso, el cual se comprimía bien al cielo de la cámara por medio de cuñas.

Para hacer el ensanche i rebaje se trababan todos los marcos por medio de dos longuerinas que descansaban sobre piés derechos i recibían los cabezales de los marcos; colocadas a firme éstas, se empezaba a pasar los tablonos laterales, i después de colocada la primera hilada se ponían las longuerinas siguientes. Colocadas éstas se hacía el rebajo, sustituyendo los puntales cortos por otros largos o vutas, que tomaban pié sobre el piso de la calota. Así se continuaba la enmaderación a medida que se avanzaba con el ensanche i rebajo, siendo los mismos terraceros los encargados de enmaderar. Una vez concluida la enmaderación de la calota, la enmaderación se presentaba como en la figura 3 de la lámina número III.

Las longuerinas eran piezas de 6 m de largo con escuadria de 0,20 < 0,30, la cual era también la de los piés derechos. Estos se colocaban distanciados de 1,50 m, pero esta distancia se reducía a 1 m i aun mas, según la carga que debían de soportar.

Las cerchas para la construcción de la bóveda de revestimiento eran hechas de pedazos de tablas de álamo de 2" de grueso, reunidos entre sí por medio de pernos i clavos i en 3 corridas, de modo a alternar las juntas. Se aumentaba todavía su solidez por medio de planchuelas atravesadas por pernos.

§ 6.—REVESTIMIENTO.—CALIDAD DE LA MEZCLA, CALIDAD DE LA ALBAÑILERÍA, FORMA DE EJECUCION.—ESCURRIMIENTO DE LAS AGUAS.—Durante el curso de la cons-

truccion se vió la necesidad de revestir totalmente el túnel i de aumentar el espesor en varios trozos. La distribucion de los diversos espesores i el gráfico de avance de los trabajos se ve en la lámina número II.

Se resolvió tambien suprimir la chapa de cemento i reemplazarla por un anillo de albañilería fraguada con mezcla de cemento de 0,20 m de espesor, de suerte que los espesores del revestimiento en bóveda fueron en realidad de 0,80 m. 1,00 m i 1,20 m. En la figura 7 lámina número III se ve el perfil trasversal del revestimiento actual, para el trozo de bóveda de 0,80 m. Para los trozos de bóveda de 1,00 m i 1,20 de espesor, sólo se han aumentado todo los espesores de ese perfil, conservándose el mismo galibo interior.

La figura 8, lámina III muestra el perfil trasversal con su radier para el trozo de túnel que se derrumbó junto con el cerro. Se agregó una galería artificial, casi al fin de ejecutada la obra en la boca túnel Oriente.

El revestimiento de la bóveda se hacia antes de sacar el estrozo, dejando un intervalo de 20 m entre la faena que construía la bóveda i la de los terraceros que atacaban el estrozo. Se hacia por anillos de 6 m de largo sobre un entablado de 2" de espesor que se apoyaba sobre cerchas distante una de otra de 1,50 a 2 m.

Los pies derechos se construian por secciones de 3 a 12 m corridos i durante su construccion la bóveda era sostenida por medio de longuerinas que se colocaban antes de empezar la bóveda al nivel de los arranques; estas longuerinas eran apuntaladas con gruesos puntales rollisos, que se distanciaban de 1,50 m a 2,00 uno de otro, i que se colocaban inmediatamente que se extraía la parte del estrozo que quedaba en los pies derechos de la bóveda. Todo el revestimiento se hizo con piedra, fraguada con mostero de cemento en la proporcion de 1 : 3. El relleno de la huelga, es decir la parte comprendida entre la albañilería i el cerro, se hizo con piedra en seco acuñada a martillo. Tanto los pies derechos como la bóveda se emboquillaron en entrante en todo el largo del túnel con mezcla de cemento en la proporcion de 1 : 2.

Las tierras eran sostenidas en las bocas del túnel por muros de frente inclinados de $\frac{1}{10}$ hacia afuera i verticales al interior, i coronados por una cornisa de piedra tallada, siendo tambien hechas con la misma piedra las rosas estérieures de la bóveda i los ángulos de los pies derechos. Las figuras 4 i 5 de la lámina III representan una vista i un corte de la boca Oriente.

En la boca Poniente el escurrimiento de las aguas se aseguró con dos barbaccanas comunicadas con dos cunetas inclinadas una a cada lado a lo largo de los muros de frente, las cuales conducen las aguas a los fosos del corte de acceso. En la boca Oriente, las aguas corren por un gran canal construido sobre el muro de frente i que conduce las aguas a la quebrada de «El Arbol». Dicho canal recibe igualmente las aguas de una pequeña quebrada que baja del cerro frente a la boca. Dentro del túnel el escurrimiento de las aguas de infiltracion se hace por dos cunetas a lo largo de los piés derechos, salvo en los 36 primeros metros de la boca Oriente en que existe sola-

nente una cuneta central, pues en ese trecho se construyó un radier de 0.50 m de espesor para contrarrestar los empujes del cerro como ya se dijo.

Durante la construcción, existiendo muchas vertientes al interior del túnel, las aguas de infiltración fueron abundantes, las que se escurrian naturalmente.

§ 7.—FORMACION JEOLÓGICA I CONSISTENCIA DEL TERRENO ATRAVESADO.—La formación jeológica del cerro «El Árbol» pertenece en su mayor parte a la época Arcaica o primitiva, presentándose en fajas arqueadas, rotas i dislocadas por la acción de grandes conmociones que han dejado grietas al interior de la masa, dando lugar a la formación de vetas con los materiales arrastrados por las aguas de infiltración.

Las rocas del cerro «El Árbol», pertenecientes a la época Arcaica, son esquistas, viotitas, cuarcitas, esquistas talcosas i caolina; también se ha encontrado en las formaciones superiores dioritas muy descompuestas pertenecientes a la época Paleozoica.

La consistencia del terreno atravesado era muy variable, encontrándose desde la roca descompuesta de consistencia désmonoradiza, que se extraía con solo la picota i a pala, hasta una roca tan dura que rayaba el vidrio i que daba una excelente piedra para el revestimiento.

La masa en jeneral se encontró dispuesta en forma de fajas o bancos, atravesados por vetas de arcilla i caolina, i separados por planos inclinados de manera que fácilmente podían deslizarse los unos sobre los otros al modificarse su estabilidad natural con la perforación del túnel.

Una de estas vetas que seguía sensiblemente la dirección del túnel, de suerte que constantemente lo estaba cruzando de un lado a otro i a diferentes alturas, i que a veces envolvía completamente su sección, se convertía fácilmente en fango con el agua de infiltración.

§ 8.—COSTO TOTAL DEL TÚNEL I PRECIO POR METRO CORRIDO.—PRECIOS UNITARIOS I JORNALES.—Los 1 900 m del túnel costaron \$ 1 652 564 lo que da un costo medio por metro corrido de \$ 869,77. Con la galería de prolongación, el precio total de los 1 950,40 m alcanzó a \$ 1 704 849,24 o sea \$ 874,10 el metro corrido.

Los precios unitarios *del contrato* fueron los siguientes:

Excavaciones en galería de avance de	0 — 200 m.	\$ 9,588
» » »	200 — 400 »	11,186
» » »	400 — 600 »	12,784
» » »	600 — 800 »	14,382
» » »	800 — 1 000 »	15,980
» » »	1 000 — adelante	17,578
Excavación en ensanche, rebajo i estrozo	0 — 500 m...	6,392
» » » »	500 — adelante	9,392
Albañilería en pies derechos, hasta el 9 de Junio de		
1902 m ³		\$ 14,382

Albañilería en bóveda, hasta el 9 de Junio de 1902 m ³ .	23,970
» en pies derechos desde el 9 de Junio de 1902 m ³	18,000
Albañilería en bóveda desde el 9 de Junio de 1902 m ³ .	30,000
Relleno de 0,20 sobre la bóveda.....	30,000
Chapa.....	3,000
Emboquillado	1,198
Relleno de piedra en seco.....	9,196
Piedra tallada... ..	79,900

En la galería de prolongacion los precios fueron:

Escavacion en seco.....	\$ 0,72
» con agotamiento.....	2,50
Albañilería ordinaria.....	18,00
» en bóveda.....	30,00
» en radier.....	22,00
Piedra en seco.....	5,00
Emboquillado.....	1,20
Estuco.....	1,50
Chapa	2,397
Relleno de tierra sobre bóveda.....	0,24
Empréstito para el relleno.....	0,48

En cuanto a los jornales fueron los siguientes:

Peones (8 horas de trabajo) desde.....	\$ 1,50	2,00
Mineros a mano (8 horas de trabajo) desde.....	2,50	5,00
Enmaderadores id	3,00	4,00
Albañiles (con 10 horas de trabajo).....	3,00	6,00
Oficiales de id.....		2,50
Cabos de cuadrilla.....	4,00	5,00
Maquinistas al mes.....		180,00
Fogoneros		3,00
Peones de las perforadoras.....		3,00

III.—Observaciones

La construccion del túnel de «El Arbol» duró cinco años i nueve meses. Los trabajos se iniciaron el 3 de Diciembre de 1900, fecha en que el contratista fué puesto en posesion de la obra. Desde esa época los trabajos siguieron sin interrupcion aunque con poca actividad en los primeros meses. En el curso de la ejecucion se hicie-

ron diversas modificaciones al contrato que alteraron el proyecto primitivo en algunas de sus características. Las principales fueron:

Se modificó las cotas de entradas i de salida, modificando tambien la pendiente: se fijó definitivamente en 332,529 m la de salida, conservando la pendiente de 2 por mil sólo sobre 152,85 m. El resto se hizo con 4 por mil sobre 941,35 i 805,40 m quedaron a nivel.

Se reconoció la necesidad de revestir el túnel en toda su longitud i de aumentar el espesor del revestimiento en algunas partes hasta 0,80 i 1,00 m, de modo que en definitiva el revestimiento quedó en la forma siguiente sobre 1,900 metros de la longitud primitiva:

1201,70 m con espesor de 0,60 m	
617,60 » » » » 0,80 »	
80,70 » » » » 1,00 »	
1900,00	

Se resolvió suprimir la chapa de cemento i reemplazarla por un anillo de albañilería con mezcla de cemento de 0,20 m de espesor, que no tiene esplicacion satisfactoria, de suerte que los espesores de la bóveda del revestimiento fueron en realidad de 0,80 m, 1,00 m i 1,20 m.

Se modificó tambien algunos precios unitarios a partir del 9 de Junio de 1902.

A consecuencia de dos grandes derrumbes producidos en el corte de acceso del lado Oriente frente a la boca, fué necesario prolongar el túnel por medio de una galería artificial sobre un largo de 50,40 m, que fué construido a cielo abierto, quedando así el túnel con un largo definitivo de 1950,40 m. Sobre esta galería se puso una chapa de cemento de 2×1 , i 0,05 m de espesor.

El primero de estos derrumbes obstruyó totalmente la entrada i motivó el alargamiento del túnel por medio de una primera galería artificial de 25 m; el segundo tuvo lugar despues de haberse construido los muros de frente de la boca, quedando éstos destruidos i la bóveda trizada en varias partes, por lo que se resolvió prolongar el túnel otros 25,40 m mas. i construir un radier en todo el trecho amenazado por el empuje del cerro.

Fuera de estos derrumbes se produjeron tambien durante la construccion de la bóveda en el interior del túnel otros, de los cuales uno sólo de importancia que obstruyó totalmente la seccion abierta con 3,500 m³ de escombros.

El avance diario de la obra enteramente concluida ha sido de 0,93 m. Los avances mensuales máximas fueron:

En galería de avance a mano.....	44 m
» » » » con perforadores.....	58 »
» ensanche i rebajo ..	54 »

» estrozo.....	40 »
» bóveda de revestimiento.....	58 »
» piés derechos.....	40 »

La seccion transversal libre del túnel mide $26,72\text{ m}^2$. El radio de la bóveda es de 2,55 m i los piés derechos tienen una inclinacion interior de $\frac{1}{10}$. La altura libre en el centro desde los rieles hasta la bóveda es de 6.00 m; el ancho a la altura del centro de la bóveda es de 5,10 i a la altura de los rieles de 4,44 m.

Los nichos se han colocado alternados i distanciados uno de otro de 50 m.

La Inspeccion Técnica corrió a cargo de don Ascencio Astorquiza hasta el mes de Marzo de 1902; desde esa fecha hasta el 7 de Febrero de 1905 a cargo de don Alejandro Guzman, i desde entónces hasta la terminacion a cargo de don Carlos de la Mahotière.

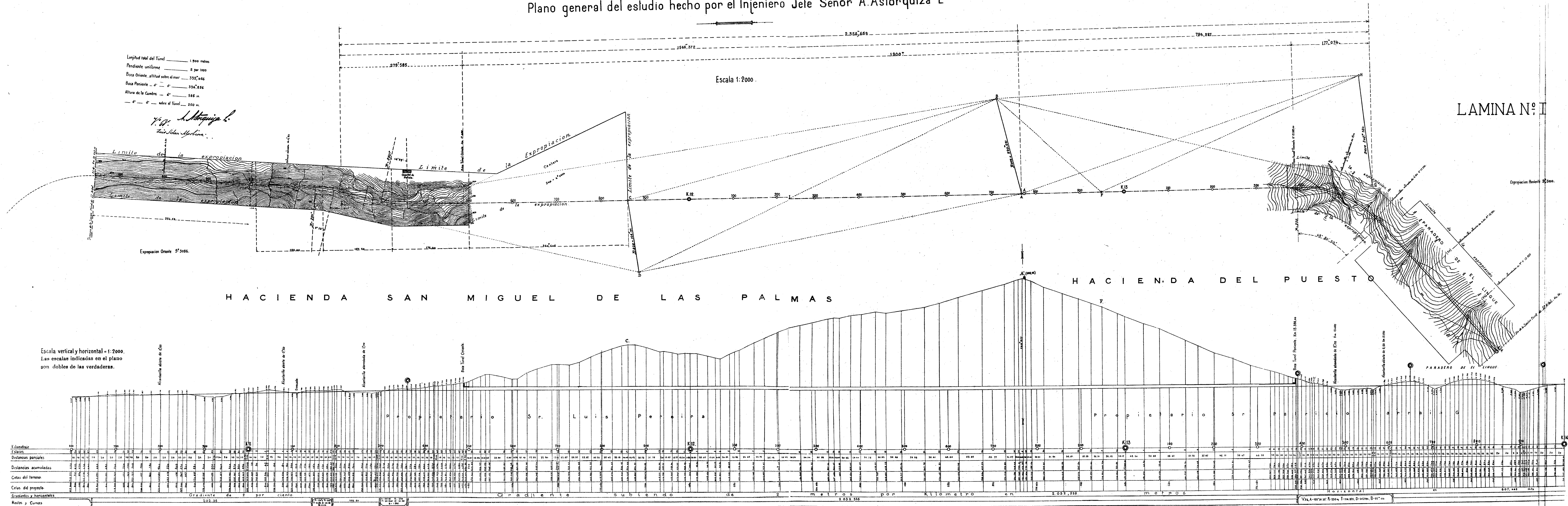
La nivelacion definitiva fué hecha por el ingeniero ayudante de esa época don Alberto Decombe i el nivelador don José A. Campo, dando una diferencia al juntar las galerías de avance de 2 cm.

Los puntos de direccion los daba el ingeniero jefe don Alejandro Guzman i el ingeniero ayudante, obteniendose apénas una diferencia de orientacion lateral de 10 cm al juntare las faenas.

El 4 de Setiembre de 1906 se hizo la recepcion provisoria de la obra.

TUNEL DE "EL ARBOL" EN EL FERROCARRIL DE ALCONES A PICHILEMU

Plano general del estudio hecho por el Ingeniero Jefe Señor A. Aslorquiza L



LAMINA N  I

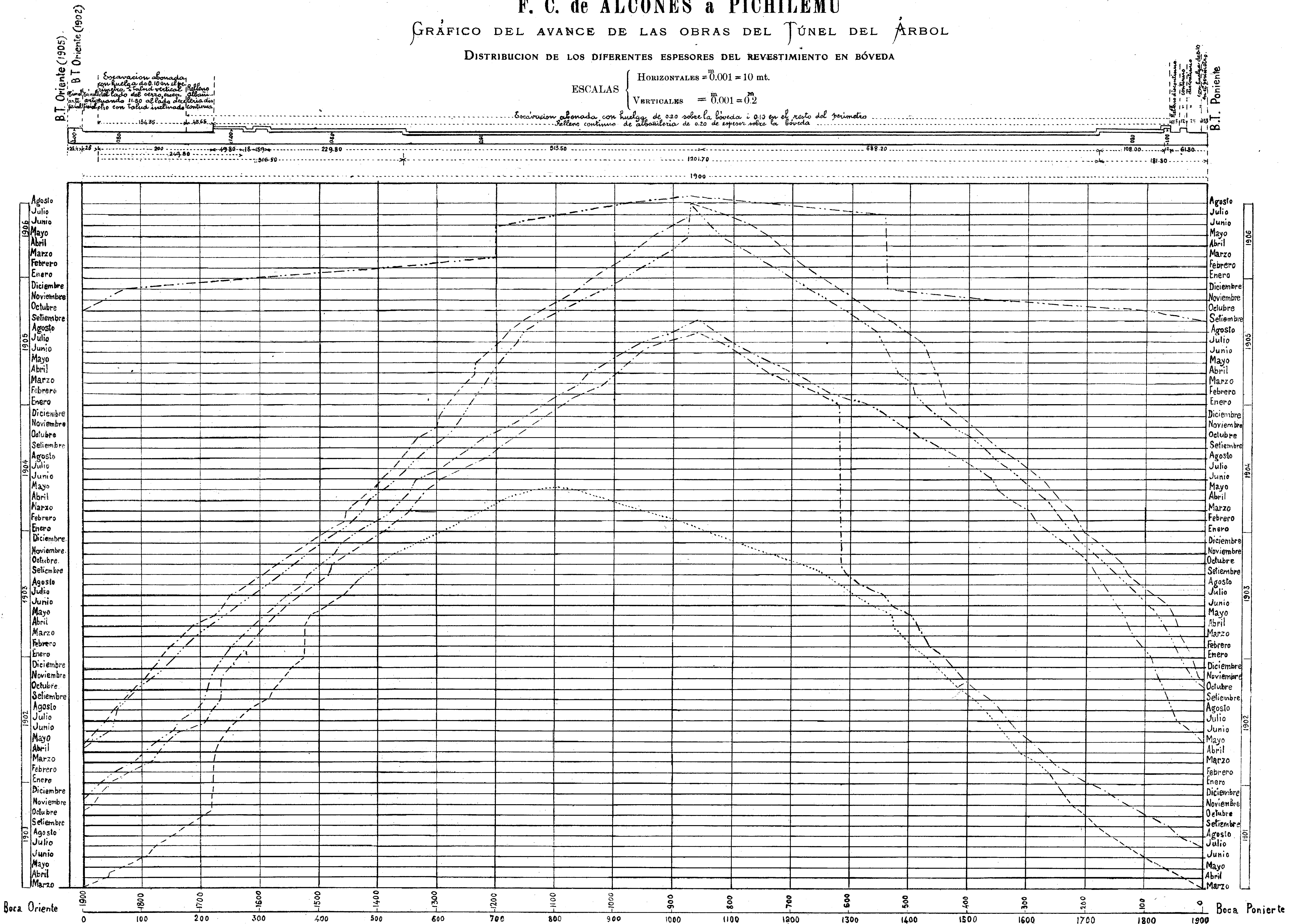
F. C. de ALCÓNES a PICHILEMU

GRÁFICO DEL AVANCE DE LAS OBRAS DEL TÚNEL DEL ÁRBOL

DISTRIBUCION DE LOS DIFERENTES ESPESORES DEL REVESTIMIENTO EN BÓVEDA

ESCALAS { HORIZONTALES = 0.001 = 10 mt.
VERTICALES = 0.001 = 0.2

Excavación abonada con huelga de 0.20 sobre la bóveda i 0.10 en el resto del perímetro
Repleno continuo de albanilería de 0.20 de espesor sobre la bóveda



LAMINA N° II

Escala: Horizontal 0.001 = 10
Vertical 1 año = 43 1/3

Leyenda.

- Galería Preparación a mano
- de avance " neumática
- Ensanche i rebaje
- Albanilería en bóveda
- Estrozo
- Albanilería en piso derechos
- Muros guarda lastre

LAMINA N° III

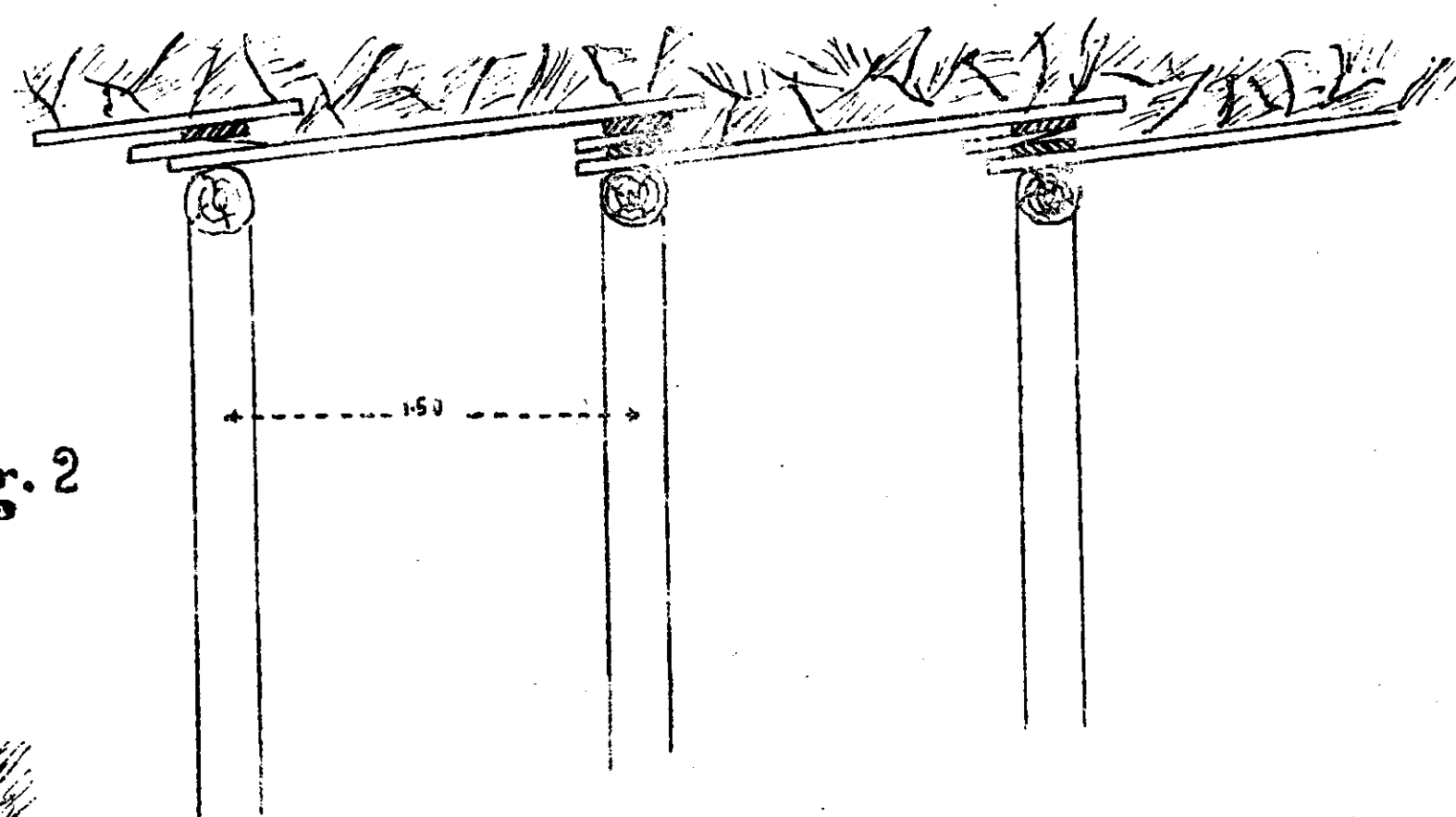
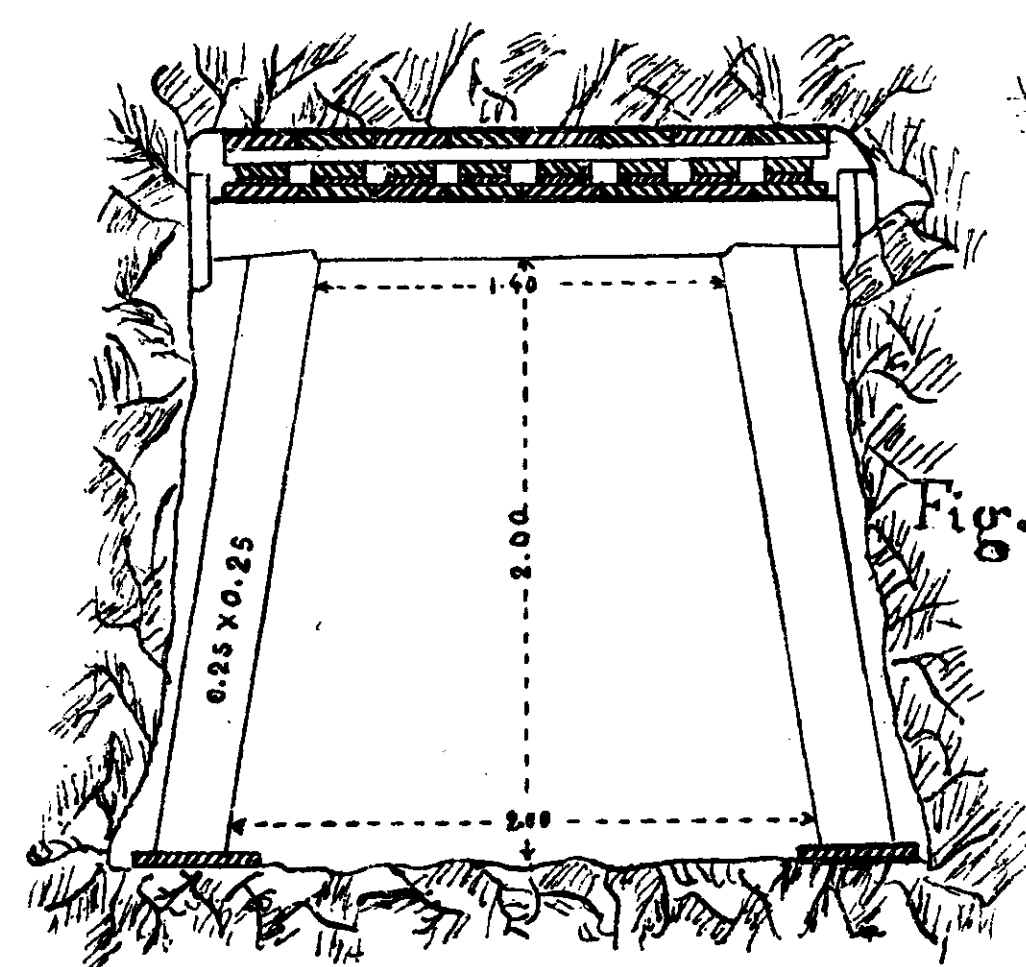
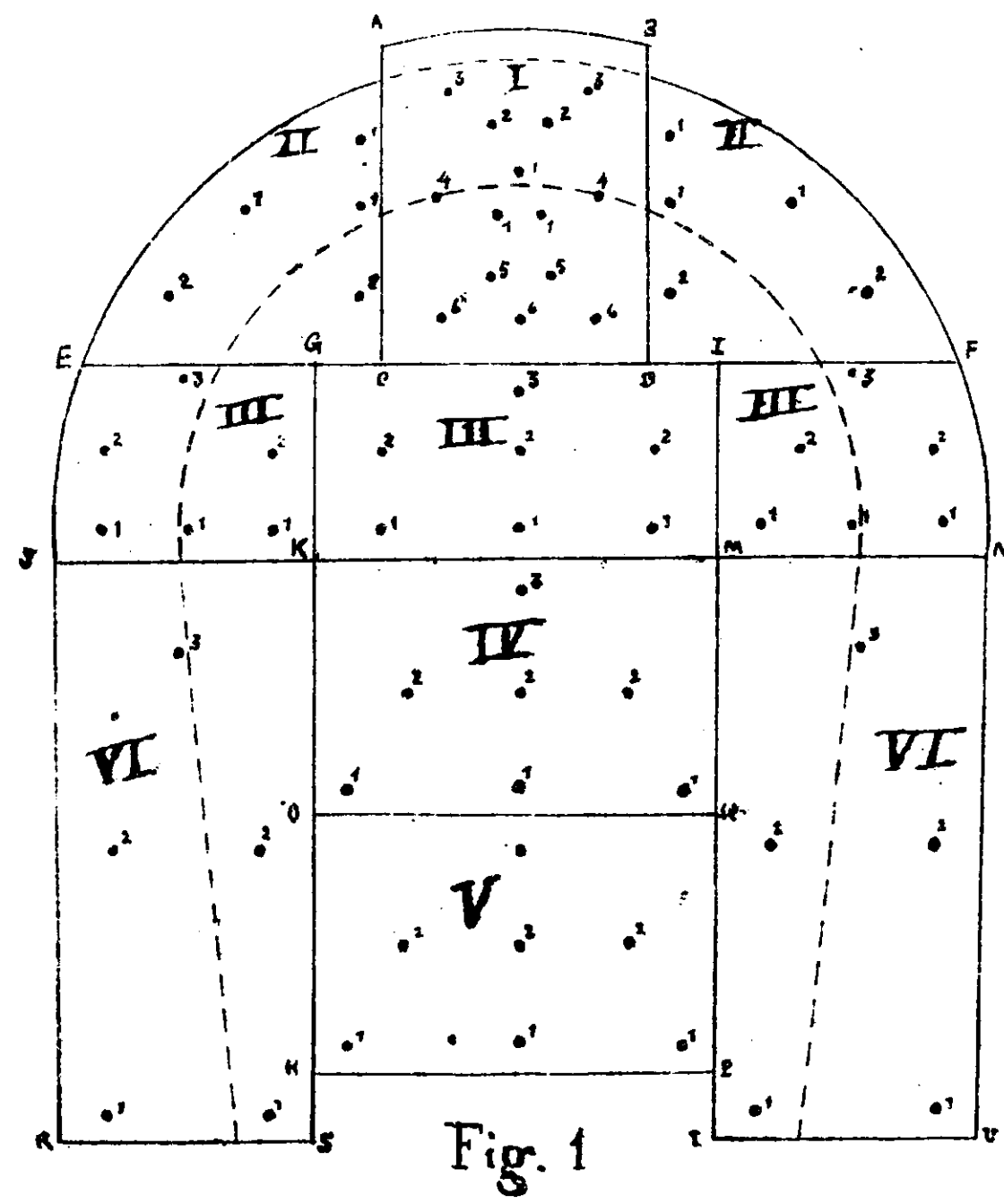
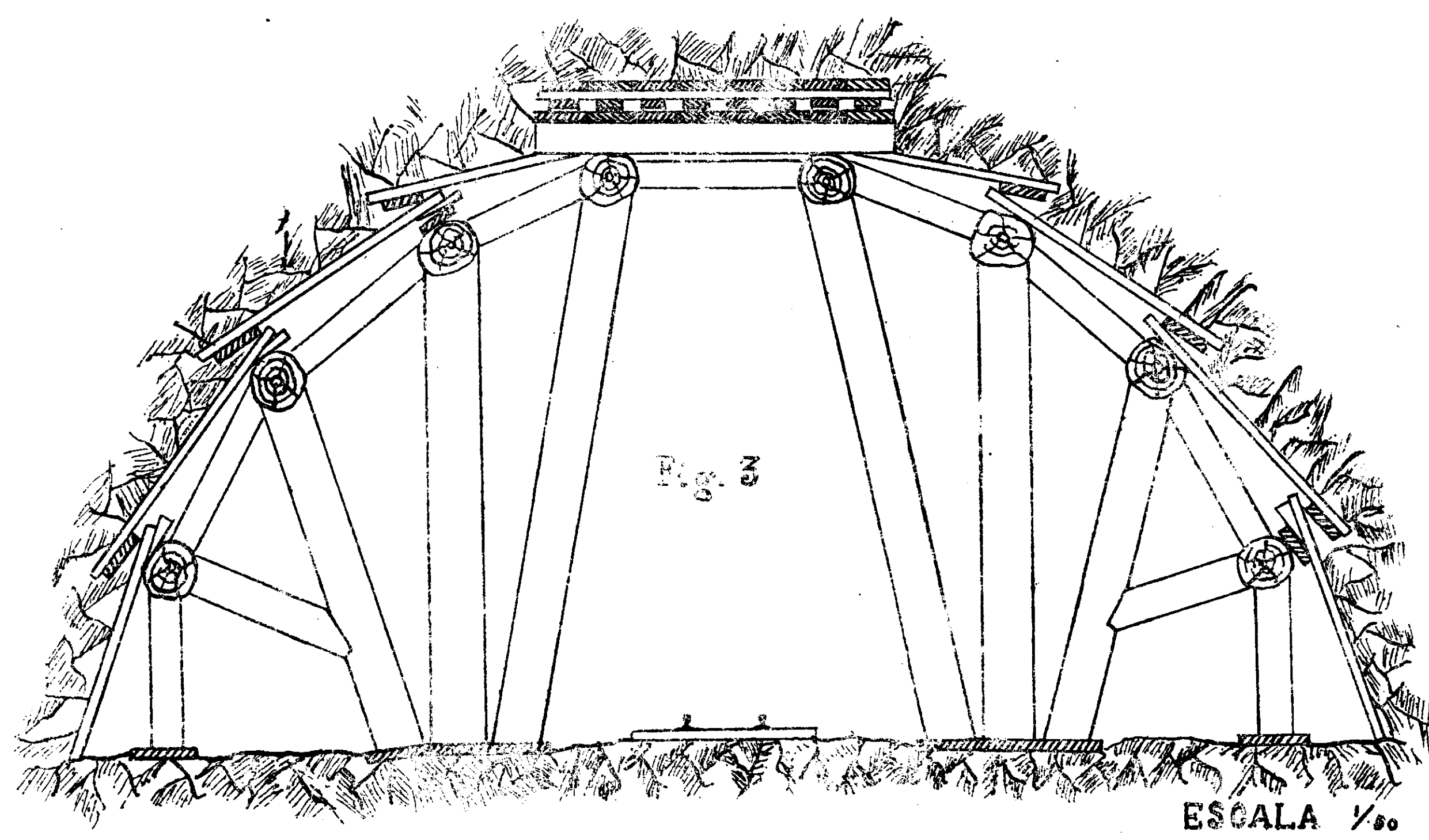
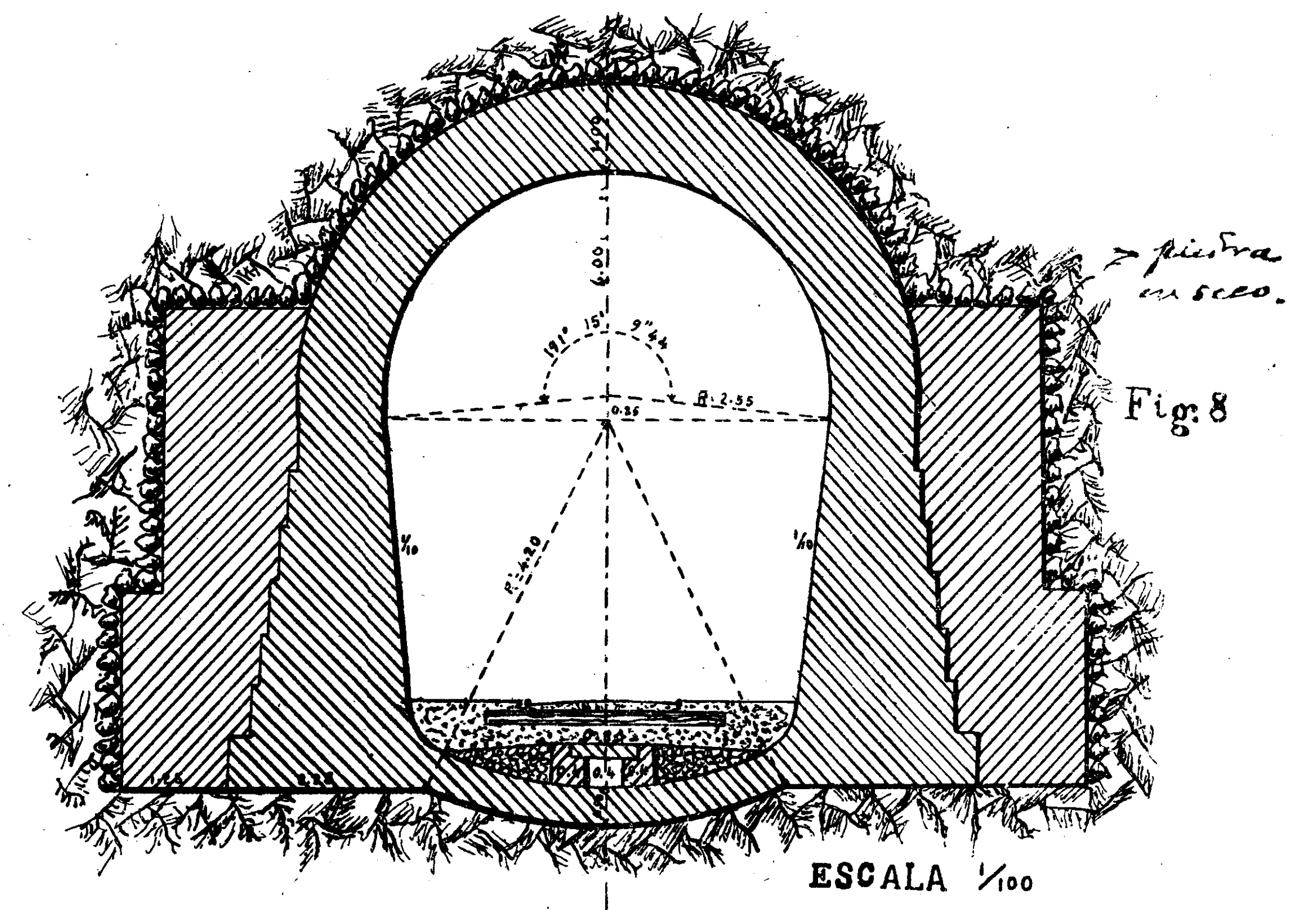
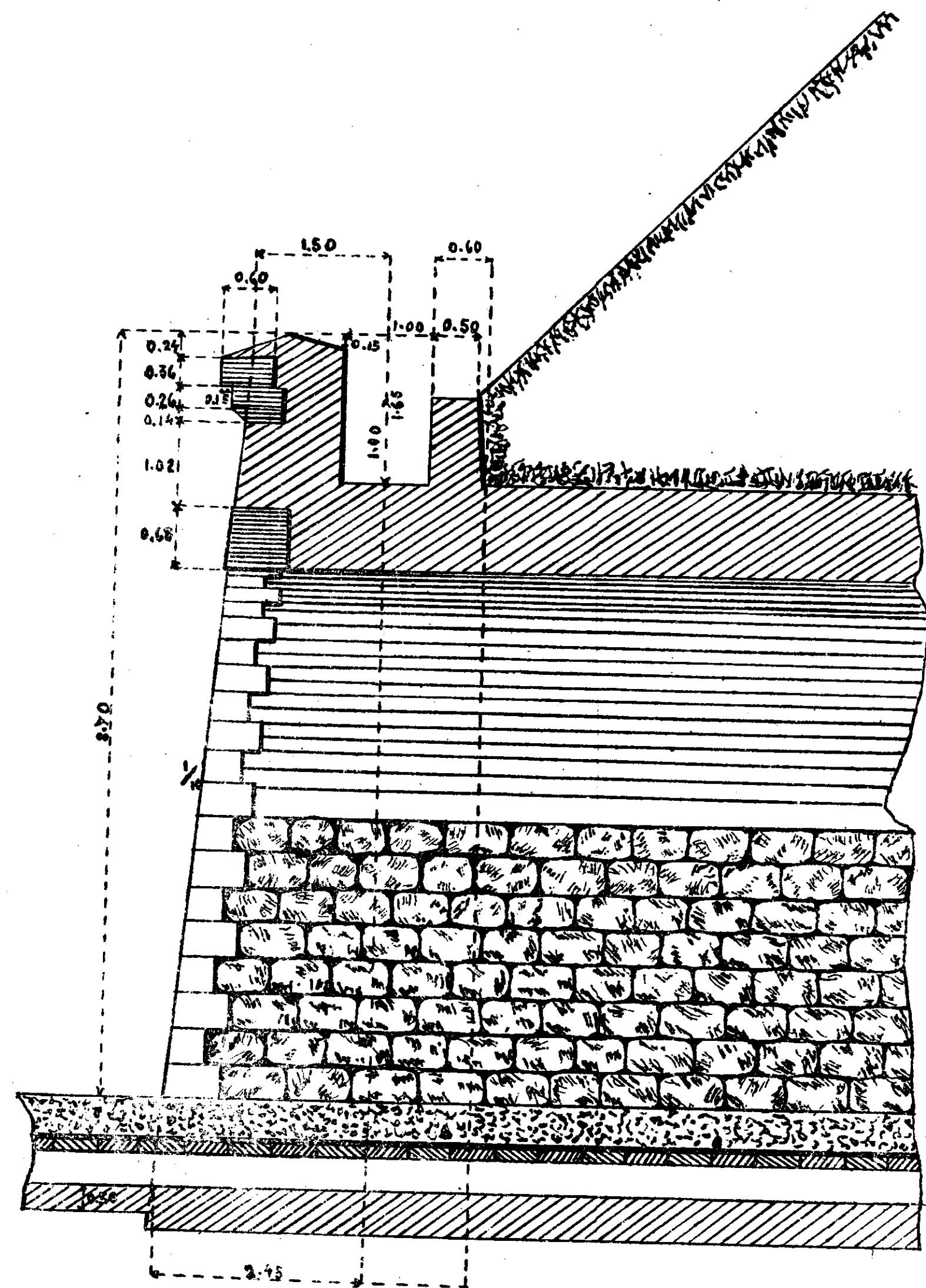
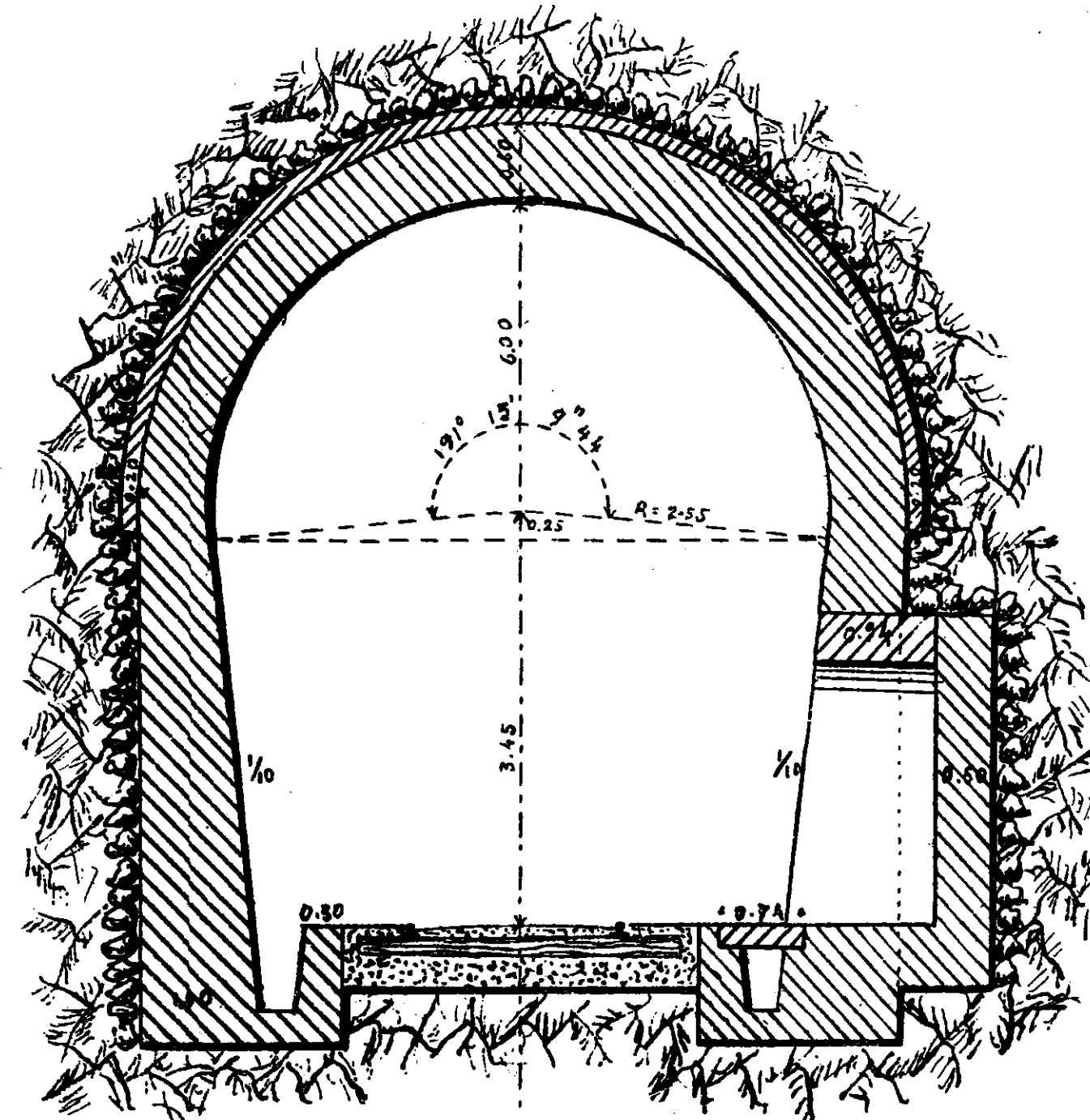
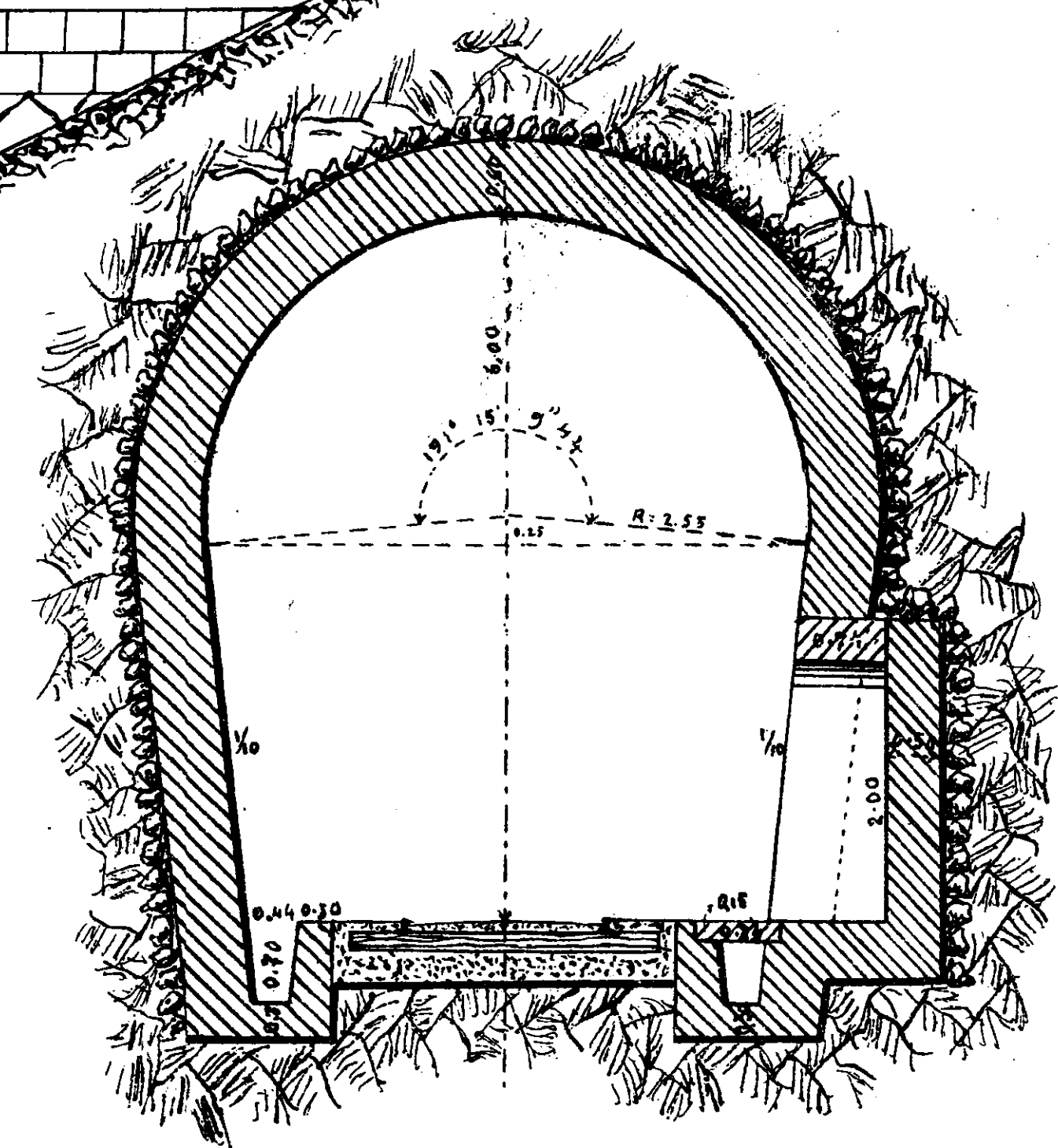
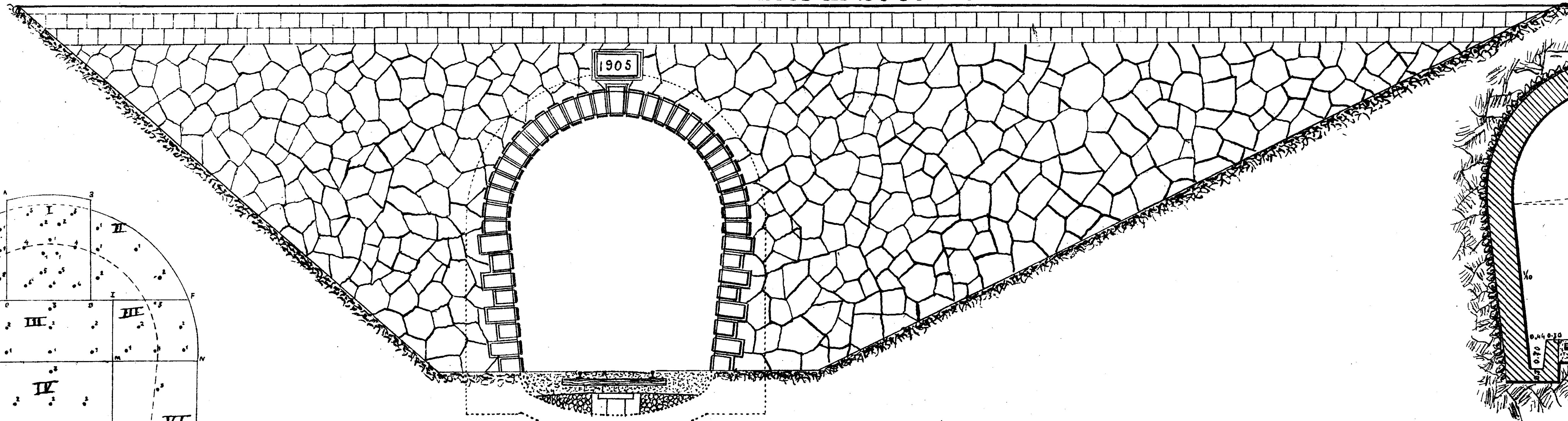


Fig. 4



ESCALA 1/50

ESCALA 1/100