

37.2

7097

TEARA DE LOS ALPES

TUNEL DE LOS ALPES.



TUNEL DE LOS ALPES.



OBSERVACION IMPORTANTE.

En el mes de julio del año 1860 fui comisionado para estudiar las obras de perforacion del Túnel de Mont-Cenis en compañía de los entonces alumnos de sexto año D. Manuel Pardo y don Luis Vasconi, y á nuestro regreso presentamos en el Ministerio de Fomento la memoria que hoy se publica.

En aquella fecha ni habian comenzado los trabajos de perforacion por los nuevos procedimientos, ni los aparatos estaban aun montados: por otra parte los ingenieros constructores guardaban gran reserva sobre el sistema de ejecucion, y eran casi desconocidos, sobre todo en sus detalles, los mecanismos que habian de emplearse. En ninguna publicacion estranjera hallamos, no ya descritas las obras, que mal podía describirse lo que aun no existía, pero ni aun el plan general de los trabajos.

Muy incompleta es la memoria que hoy se publica, mas por entonces pudo en virtud de las razones expuestas presentar algun interés

Desde el año 60 hasta hoy, es decir, en un espacio de mas de tres años, las obras han avanzado rápidamente; como sucede en trabajos de este género, á medida que la esperiencia ha

ido aconsejando nuevas mejoras, se ha modificado el plan primitivo, y esto ha sucedido por ejemplo con los aparatos de condensacion de aire establecidos en Modane: la apertura del Túnel que en aquella fecha era solo un proyecto, hoy está en vía de ejecucion: y por último, aquella natural reserva que guarbaban en un principio los ingenieros ha desaparecido al fin, y descritos están hoy en la mayor parte de las publicaciones estrangeras el sistema y los aparatos y mecanismos empleados en el rompimiento del túnel. Razones son estas por las que á depender solo de mí, no se publicaria ya este trabajo, que forzosamente es, y ha de parecer, inexacto é incompleto, y cuya oportunidad pasó. Mas puesto que al fin ha de ver la luz pública, he preferido que salga tal como fué escrito, á redactarlo de nuevo; agregando, sin embargo, en un apéndice las nuevas noticias que he podido adquirir, y corrigiendo tambien en dicho apéndice algunos de los errores cometidos en el cuerpo principal del escrito.

Madrid 30 de junio de 1863.

JOSÉ ECHEGARAY.

MEMORIA

SOBRE

LOS TRABAJOS DE PERFORACION

DEL

TUNEL DE LOS ALPES,

ESCRITA EN EL AÑO 1860

DURANTE LAS PRÁCTICAS

DE LA ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS

DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.



MADRID:

IMPRENTA DE LA VIUDA DE D. J. C. DE LA PEÑA,
calle de Atocha, núm. 149.

1863.

MEMORIA

DE

LOS TRABAJOS DE PERFORACION

DE

TUNEL DE LOS ALPES.

PRESENTADA AL AÑO 1883

DE LA ESCUELA ESPECIAL DE INGENIEROS

DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS



MADRID

IMPRESA DE LA BIBLIOTECA DE LA ACADEMIA DE INGENIEROS

Calle de Atocha, núm. 139

1883

ADVERTENCIA.

COMISIONADOS por la Direccion general de Obras públicas en el verano de 1860 para estudiar durante las prácticas de la Escuela especial de Ingenieros de Caminos el sistema de perforacion del Túnel de los Alpes, y sabiendo por las publicaciones extranjeras que ni estaban montados los aparatos, ni por lo tanto habian comenzado los trabajos, creimos conveniente estudiar en las oficinas centrales de Paris el proyecto en cuestion antes de ir á Modane ó á Bardoneche, para formarnos desde luego una idea exacta del nuevo sistema, lo cual no hubiéramos podido conseguir de una manera completa en la misma localidad por las razones espuestas precedentemente. Mas á nuestra llegada á Paris supimos, que en virtud de un reciente convenio celebrado entre Francia y el Piamonte, convenio de que no teniamos noticia, se habia hecho cargo este último pais de la ejecucion de la obra, por cuya causa habia recogido el Gobierno cuantos datos y antecedentes obraban en dichas oficinas: imposible nos fué por este motivo realizar nuestro primer pensamiento. Al mismo tiempo nos manifestó Mr. Laffite, representante de la Compañía del ferro-carril Victor Manuel, cuan difícil sería que pudiésemos estudiar los nuevos aparatos de perforacion, no solo

por no hallarse aun establecidos, sino mas principalmente porque deseaban los Ingenieros guardar el mayor secreto sobre cuanto al nuevo procedimiento para taladrar túneles se referia. La natural desconfianza que á todo inventor aqueja, sobreexcitada por las muchas reclamaciones que respecto á la originalidad del nuevo sistema habian hecho otros Ingenieros, explicaba, y hasta cierto punto justificaba tambien, este recelo.

Al llegar á Turin nos convencimos de la exactitud de cuanto Mr. Laffite nos habia dicho; y si bien gracias á la eficaz y amable recomendacion del Embajador español Sr. Coello, y á la galanteria del Sr. Menabrea, pudimos vencer en parte los obstáculos que á la realizacion de nuestros deseos se oponian, se comprende desde luego que el exámen que de las obras hicimos fué rapidísimo, y por lo tanto incompleto y superficial. No hemos tenido á la vista, al redactar la presente noticia, plano ni memoria alguna; pues si bien los Ingenieros directores nos permitieron visitar los trabajos y examinar los mecanismos, sin duda por sus muchas ocupaciones no les fué posible proporcionarnos varios datos que hubiéramos deseado adquirir y que á nuestra salida de Bardoneche nos prometieron. Para redactar, pues, la siguiente noticia, nos hemos atendido tan solo á los recuerdos que de nuestra visita al Túnel hemos podido conservar, y hé aquí por qué conceptuamos necesarias las esplicaciones que preceden: por ellas se comprenderá cuán desfavorables han sido las circunstancias en que nos hemos visto obligados á redactar esta memoria, y tal vez se nos dispensen los involuntarios errores que hayamos cometido, y las inexactitudes en que seguramente habremos incurrido, bien á nuestro pesar. Madrid 25 de febrero de 1861.— José Echegaray.— Manuel Pardo.— Luis Vasconi.

TUNEL DE MONT-CENIS.

INTRODUCCION.

Años há que lucha el Piamonte por conquistar el puesto que en Europa le corresponde, y del que su constancia y su fé en el porvenir, tanto como los talentos y los esfuerzos de sus hijos, le hacen digno. Centro y núcleo de la gran nacionalidad italiana, comprende cuán grande es la mision que debe cumplir, y trabaja sin descanso para realizarla; así se le halla en todas partes afanándose por la gran obra, y alzando á todas las esferas el espíritu de vida y de progreso que le anima; y natural es, que en medio de este gran movimiento, que se hace sentir lo mismo en el órden intelectual que en el órden físico, dirija una buena parte de sus fuerzas hácia el elemento civilizador de la época, y procure completar y poner en relacion su red de vias férreas con las de los Estados limítrofes.

Grandes intereses comerciales le ligan en efecto á Suiza, Alemania y Francia; altas miras políticas le aconsejan que estreche mas y mas sus relaciones con esta última potencia, á la que pudiera decirse, que hasta el agradecimiento y la historia moderna le unen (1); y si por punto general toda red

(1) Esto se escribia en el año 1860.

de ferro-carriles debe enlazarse con las restantes, á menos de quedar rota y aislada, y como miembro segregado del cuerpo sin recibir de él sangre y vida, bien se comprende que aspire á poner en inmediata relacion sus vias férreas con las estensísimas redes que cubren ya el continente europeo, llevando á todas partes el bienestar y la riqueza.

La red italiana, que entre líneas construidas ó en construcccion comprende mas de 1.500 kilómetros, puede por el pronto llenar las necesidades del pais; mas si ha de dar los grandes resultados á que se aspira, es de todo punto indispensable que se ponga en inmediata relacion con los ferro-carriles suizos, alemanes y franceses. Sin entrar aquí en detalles ajenos á nuestro objeto, oportuno será sin embargo, para que cuando menos se aprecie toda la trascendencia de la importantísima obra que nos proponemos describir, y que es la clave, por decirlo así, del gran problema de los ferro-carriles italianos, recordar algunos datos, bien conocidos ciertamente, pero siempre interesantes y dignos de estudio.

Solo dos observaciones haremos entre las muchas que pudiéramos presentar. Basta para convencerse de la importancia que dá, y que en efecto debe dar el Piamonte, á la pronta terminacion del ferro-carril Victor Manuel, observar cual fácil y ventajosa competencia podria hacer Génova á Marsella en la plaza de Ginebra.

La distancia de Marsella á Ginebra por Lion es de 510 kilómetros; la de Génova á Ginebra por Mont-Cenis, de 450 kilómetros; y esta diferencia de 60 kilómetros entre ambos trayectos, representa, á igualdad de las demas condiciones, una ventaja de seis francos por tonelada en favor de la última línea. La competencia entre Marsella y Génova es por lo tanto posible, al menos entre ciertos límites, y será gérmen de prosperidad para esta última plaza comercial.

Pero si al presente el enlace de la red piamontesa con las líneas francesas, suizas y alemanas, daría nueva vida á los ferro-carriles italianos, aun las ventajas serían mayores, y mayor la circulacion y el movimiento mercantil, tan luego como se

realice una de las empresas mas gigantescas del siglo: nos referimos á la apertura del Istmo de Suez. Terminada que sea esta gran obra, y rota al propio tiempo la barrera de los Alpes, el Piamonte, y puede decirse que la Italia entera, vienen á ser puntos de paso para el comercio entre Oriente y muchos de los centros mercantiles de Europa; pero si por desgracia este obstáculo existe cuando el canal de Suez se abra al comercio, y si la red piamontesa continúa aislada en medio de las grandes vías que llegan hoy hasta la frontera italiana, la corriente comercial retrocederá ante la altísima barrera de los Alpes, y abrirá nuevos cauces, llevando á paises mas afortunados fecundos elementos de progreso.

Las consideraciones que brevemente acabamos de presentar prueban cuanta importancia tiene el problema del paso de los Alpes, no tan solo para el Piamonte sino para la Europa entera; pues por fortuna se va comprendiendo ya que los intereses de los pueblos son armónicos, y que no es la ruina de uno motivo de verdadero engrandecimiento para los demas. Mas el problema, fuerza es confesarlo, es difícil y complicado de suyo, y á mas de esto, puede decirse que es múltiple, porque varias son en efecto las soluciones que á la vez han de elegirse y realizarse para unir los ferro-carriles italianos á los de Suiza, Alemania y Francia, por diversos puntos convenientemente elegidos á lo largo de la frontera piamontesa.

Así es como se han propuesto en diversas ocasiones las líneas siguientes:

Comunicacion entre Tolon y Génova por el litoral del Mediterráneo.

Paso por el Mont-Cénis.

Paso de los Alpes por el pequeño San Bernardo.

Línea de union entre Suiza y el Piamonte por el gran San Bernardo.

Paso por el Simplon, por San Gotardo, por Splugen, por Lukmanier etc. etc.

Estas diversas soluciones han ido sucesivamente surgiendo del estudio de las localidades, y representan intereses diversos

por poderosísimas influencias defendidos: así es como el Piamonte y la Francia apoyan el paso por los Alpes franco-piamonteses; como Austria sostiene la conveniencia de una línea por Splugen; y como Alemania defiende el paso por los dos Lukmaniers; pero entre estos diversos proyectos el que ha merecido la prioridad, y el que se hallará en breve terminado, exceptuando el Túnel de Mont-Cenis, es el conocido con el nombre de ferro-carril Victor Manuel.

Todas las dificultades del paso por Mont-Cénis han venido pues á reconcentrarse en el ya célebre túnel, y contra ellas luchan los distinguidos ingenieros que se hallan al frente de la obra, no con absoluta seguridad de un buen éxito, pero con grandes esperanzas y con esforzado ánimo al menos. Hé aquí porqué, como digimos al principio, es hoy el túnel de Mont-Cénis la clave del paso de los Alpes, y cómo hay altísimos y trascendentales problemas íntimamente enlazados con esta gran cuestion de arte.

Paso de los Alpes por Mont-Cénis.

Débese á Mr. Médail la primera idea del paso de los Alpes por Mont-Cénis: en una memoria que publicó hácia el año 37 hizo notar: 1.º, que los valles de la Doire y del Arc corren paralelamente en una gran estension de su curso, de Poniente á Levante el primero, y de Levante á Poniente el último: 2.º, que si se imaginaba una línea directa entre Turin y Paris, los puntos en que dicha línea cortase á ambos rios estarian próximamente á nivel; 3.º, que su distancia seria de unos 10 á 12 kilómetros, y que correspondia este paso al máximo estrechamiento de la cadena de los Alpes en la direccion indicada.

Pero aun eligiendo dicho punto como el mas conveniente para el paso en cuestion, quedaba otro problema que resolver, y era este, la manera de salvar la distancia de 12 kilómetros que entre uno y otro rio mediaba.

O bien podia pasarse por la parte superior de la divisoria

marchando siempre sobre el terreno con el desarrollo conveniente y pequeños túneles, ó bien podia intentarse la construccion de uno solo que fuera de uno á otro valle corriendo bajo la cordillera de los Alpes en una estension de 10 á 12 kilómetros.

Una y otra solucion tuvieron naturalmente sus defensores, y aun para realizar la primera se presentaron algunos proyectos: llegaron á proponerse pendientes de 10 por 100, desmontes de 120 metros de altura, y ruedas hidráulicas como motores auxiliares; mas tan imperfectos eran estos sistemas que al fin fueron desechados, y todos los esfuerzos de los ingenieros se dirigieron de consuno á vencer las enormes dificultades que la construccion de un paso subterráneo trae consigo; pero que aun siendo grandes se consideraban inferiores á las que el paso superior de la cordillera habria de ofrecer necesariamente. Y en efecto, de escoger este último sistema era preciso elevarse á unos 700 metros sobre los valles de la Doire y del Arc, lo que equivale, suponiendo que el trabajo necesario para subir 5 metros es igual al que se desarrolla para recorrer un kilómetro sobre la horizontal, á un aumento en la longitud de la línea de $\frac{700}{5} \times 1^k = 140$ kilómetros, ó sean 25 leguas próximamente.

Todos los proyectos que suponen un paso superior y exigen por lo tanto que la línea suba 700 metros con pendientes del 8 y del 10 por 100 para bajar en seguida de esta altura con iguales dificultades, no resuelven, pues, el problema del paso de los Alpes. «No se trata, dijo el ilustre general Menabrea en la Cámara de los Diputados, de *pasar* los Alpes, sino de *suprimir* los Alpes; no de ir por *encima* de la gran masa de montañas, sino de atravesar por su centro;» y aun suponiendo que el gasto inicial y el tiempo, y las dificultades de construccion sean mayores en este último caso que en el primero, debe sacrificarse sin titubear el coste de primer establecimiento á las inmensas ventajas que proporciona una explotacion regular y fácil.

Tal era al menos, y prescindiendo de algunas consideraciones que sobre este punto pudieran hacerse, la idea dominante en las Cámaras piamontesas, y de muchos distinguidos ingenie-

ros de aquel país; y tal es una de las principales razones que se tuvieron presentes para resolver definitivamente la perforación del túnel de Mont-Cenis.

Parte histórica del sistema de ejecución.

Cuando de problemas tan difíciles se trata, no se llega de una vez y sin algunas tentativas al resultado, y así ha sucedido en el caso presente: se propusieron en efecto diferentes sistemas mas ó menos completos, mas ó menos ingeniosos; pero entre todos solo merece recordarse el presentado por Mr. Maus.

Este distinguido ingeniero propuso la construcción de una galería de 12.250 metros entre Modane y Bardoneche que pasaba á 1.600 metros bajo el puerto de Fréjus; la boca del túnel en Bardoneche se fijaba á 1.365 metros sobre el nivel del mar, y á 1.150 metros el extremo de la galería por la parte de Modane, resultando, pues, una pendiente de $\frac{1.365-1.150}{12.250} \times 100 = 1,74$ por 100 para la rasante del túnel.

Los trabajos, según el proyecto, debían comenzar por las dos estremidades, y á fin de acelerar la apertura del subterráneo, había ideado el autor una máquina para dividir la piedra por medio de la percusión en hiladas horizontales, practicando al efecto una serie de rozas á diferentes alturas, y destacando despues con el auxilio de grandes cuñas los bloques de piedra que ya habrían quedado adheridos solo por una cara al fondo de la galería.

El sistema propuesto por Mr. Maus comprendía pues tres partes principales.

1.^a *El aparato móvil ó sea el útil.* Debía este avanzar á medida que fuese penetrando la galería en la montaña, y estaba destinado á ejecutar, por el procedimiento que acabamos de esponer, el trabajo de perforación.

2.^a *La parte fija ó el motor.* Se establecía fuera del túnel y estaba formado de varias ruedas hidráulicas puestas en movimiento por algunas caídas de agua.

3.^a *El mecanismo de trasmision del motor al operador.*
Consistia en un sistema de cuerdas y poleas análogo al del plano inclinado de Lieja, con las modificaciones no obstante que las circunstancias de la localidad y el nuevo uso á que se destinaba hacian necesarias.

Este mecanismo fué examinado por personas entendidas en la materia y mereció por el pronto una aprobacion completa; mas posteriormente surgieron algunas dificultades, y ante ellas se detuvo el Parlamento. No pudo, pues, llevarse á cabo el proyecto de Mr. Mauss, proyecto muy ingenioso sin duda alguna y digno del nombre de su autor, pero que sin embargo ofrecia una grave dificultad: no presentando el suelo del túnel mas que una sola pendiente era imposible, ó por lo menos en estrecho difícil, el desagüe de la parte superior.

Desechado este sistema, no por eso se renunció á ejecutar la gran obra de la perforacion de los Alpes, y bien puede decirse que se ha presentado anualmente este proyecto á las Cámaras piamontesas, hasta que al fin los ingenieros Sommeilleur, Grandis y Grattoni, despues de estudiar detenidamente el asunto, propusieron un nuevo método que mereció la superior aprobacion, y con arreglo al cual se procede hoy á la apertura del túnel.

Grandes dificultades ofrece este trabajo y no falta por lo tanto quien, aun hoy mismo, duda que el éxito corone los esfuerzos de los ingenieros italianos: á fin, pues, de dar una idea tan completa como sea posible de los obstáculos que á la realizacion de la obra se oponen, indicaremos ante todo algunos de ellos, dejando para mas adelante el exámen detallado de los que en nuestro concepto son mas dignos de estudio y consideracion.

Dificultades que ofrece la ejecucion del túnel.

Todas ellas pueden reducirse en último análisis á los cinco puntos siguientes:

- 1.º Alineaciones.
- 2.º Nivelacion.
- 3.º Desagüe de las filtraciones.
- 4.º Ventilacion.
- 5.º Tiempo necesario para la terminacion de la obra.

Examinemos cada uno de ellos separadamente.

1.º *Alineaciones.* Hay una circunstancia que dificulta en extremo el establecimiento de las alineaciones, y es esta, la falta de pozos que de distancia en distancia den puntos de comprobacion, y reduzcan por lo tanto los errores máximos á los que en cada una de estas distancias parciales puedan cometerse. Es, pues, indispensable trazar, desde las dos bocas, alineaciones de mas de 6.000 metros cada una, que en el centro del túnel se encuentren y coincidan, y esta operacion es en efecto, ya que no imposible, como algunos han creido, difícil y delicada al menos; y aun mas difícil si se tiene en cuenta que lo escabroso del terreno hace imposible el establecimiento de las alineaciones en la parte superior del suelo. (Véase el Apéndice, núm. 1.)

Segun las esplicaciones que verbalmente se nos dieron, pues fué imposible poner á nuestra disposicion documento alguno relativo á este punto, un sencillísimo cálculo trigonométrico, y un cuidado y esmero esquisitos en las operaciones han resuelto, á lo que es de esperar satisfactoriamente, el problema, el cual por otra parte solo buenos instrumentos y operadores hábiles exigia.

Las figuras 1, 2, 3 indican varios métodos que pueden seguirse y de los cuales, segun parece, el segundo es el que se ha empleado para establecer las alineaciones del túnel.

Primer método. Supongamos (fig. 1.º) que se quiere establecer la alineacion A B sin dirigirse directamente de uno á otro punto. Si partimos del punto A y formamos en el terreno un polígono A B' C' D' E' F' B que termine en el segundo punto B, cuidando de medir sus ángulos B', C', D', E', F', así como todos los lados, fácil nos será calcular los ángulos $\alpha = \angle A'' A B'$ y $\beta = \angle B'' B F'$ que las dos alineaciones A A'', B B'' han de formar con los dos últimos lados AB', BF', para que dichas alineacio-

nes coincidan exactamente con la línea A B. En efecto, en el triángulo $AB'C'$, del cual conocemos los dos lados AB' y $B'C'$, y el ángulo comprendido B' , calcularemos el lado AC' y los ángulos $B'C'A$ y $B'AC'$: en el triángulo $C'AD'$, del cual conocemos el lado AC' y el ángulo $AC'D'$, diferencia de los ángulos $B'C'D'$ y $B'C'A$, calcularemos el lado AD' y los ángulos $D'AC'$ y $AD'C'$; y continuando de este modo el cálculo de los triángulos $AD'E'$, $A'E'F'$ y ABF' , podremos hallar el ángulo $\alpha = B'AC' + C'AD' + D'AE' + E'AF' + F'AB$ y el ángulo β que resultará inmediatamente del cálculo del último triángulo.

Segundo método. Este procedimiento puede combinarse con el anterior ó con el siguiente, sirviendo por lo tanto de método de comprobacion; ó bien puede emplearse exclusivamente para determinar los ángulos α y β . Supongamos que partiendo de un punto F, (fig. 2.^a) se trazan dos líneas poligonales $FC''B''A$, y $FC'B'B$ que terminen en las dos bocas del túnel A, B, y que para mayor exactitud se vuelva al punto de partida F, cercando los dos circuitos $FC''B''AE''D''F$ y $FC'B'BE'D'F$: es claro que si á cielo abierto y sobre un terreno llano se marca en escala natural la figura formada por los dos polígonos, —partiendo á este fin de un nuevo punto F, (que no está indicado en la figura), con dos alineaciones F_1C_1' , F_1C_1'' que formen con la meridiana ángulos iguales á α y γ , —uniendo los puntos estremos se podrá trazar la alineacion AB, y de este modo se medirán sobre el terreno los ángulos α , β que forman las dos alineaciones A a, B b con la meridiana ó con los lados AB'' , BB' . Como se vé inmediatamente por lo que acabamos de esponer, este método está reducido á copiar, digámoslo así, en escala natural la figura formada por la alineacion del túnel y por los dos polígonos, midiendo despues directamente en el terreno los ángulos α y β . Es claro por otra parte, segun digimos al principio, que puede aplicarse á la figura 2 el cálculo trigonométrico y hallar de este modo directamente dichos ángulos.

Tercer método. Si aun pudiera haber alguna duda sobre la exactitud de los métodos anteriores, nada mas fácil que dar todo el rigor apetecido á dicha investigacion: bastaria para ello

partir de una base *C D* (fig. 3.ª) convenientemente elegida, y formar una red de triángulos que terminasen en las dos bocas del túnel: de este modo y por operaciones bien sencillas, podrían calcularse los ángulos que forman las dos alineaciones *Aa*, *Bb* con uno cualquiera de los lados de los triángulos estre-mos ó con la meridiana.

Respecto, pues, á las alineaciones, teniendo en cuenta por una parte la perfeccion de los instrumentos que hoy se construyen, y al propio tiempo la conocida habilidad y la merecida reputacion de los ingenieros que estan al frente de los trabajos, no creemos que deba abrigarse duda ni temor alguno sobre el éxito de dicha operacion.

2.º *Nivelaciones.* Se han fijado con la mayor exactitud las cotas de las dos bocas del túnel por medio de dos nivelaciones, varias veces repetidas, que partiendo de un mismo punto, cuya cota se conocia de antemano, terminaban en los dos estre-mos del subterráneo.

Las precauciones que se han tomado para llevar á cabo esta operacion, y la bondad de los niveles, así como la habilidad de los operadores, infunden la mayor confianza acerca de la exactitud de los resultados. (Véase el Apéndice, núm. 2.)

3.º *Desagüe de las filtraciones.* A fin de proporcionar desagüe á las filtraciones que aparezcan en el curso de los trabajos, se han proyectado dos pendientes para el fondo del túnel; una hácia Bardoneche de 5 por 1.000, y otra hácia Modane de 23 por 1.000; de este modo los filetes de agua que se presentan podrán recogerse en una cuneta de desagüe practicada en el suelo de la galería, y el agua correrá hácia las dos bocas sin entorpecer los trabajos, á menos que no tengan lugar circunstancias extraordinarias que no es fácil prever, pero que hasta el presente no parecen probables. (Apéndice, núm. 3.)

4.º *Ventilacion.* El problema de la ventilacion es uno de los problemas capitales para la apertura del túnel. La gran distancia á que penetra en el interior de la montaña; el ser indispensable para el trabajo un gran número de lámparas constantemente encendidas; la acumulacion de obreros en el fondo del

subterráneo; y sobre todo la circunstancia de haber necesidad de atacar la roca con pólvora, hacen de todo punto indispensable la renovacion periódica de una gran masa de aire. Es, pues, necesario lanzar al fondo del túnel cierta cantidad de aire puro que alimente la combustion, que sirva para la respiracion, y que se mezcle en proporciones convenientes con los gases que de la voladura de los barrenos resulten. A este fin propuso M. Colladon, distinguido físico de Ginebra, el empleo del aire comprimido; pero sin indicar ni el modo de comprimirlo, ni la manera de servirse de él. (Apéndice, 4.) Aprovechando esta primera idea y desarrollándola convenientemente, combinaron los ingenieros Grandis, Grattoni y Sommeilleur un sistema de aparatos, que es el que en la actualidad se está preparando, y que bien pronto comenzarán á funcionar; mas como este punto está íntimamente enlazado con la cuestion de motores, dejaremos su estudio para mas adelante.

5.º *Tiempo necesario para la ejecucion del túnel.* Una de las primeras cuestiones que debian resolverse era la relativa al estudio geológico de las grandes masas que el túnel habia de atravesar. Es sin duda difícil en extremo y casi nos atrevemos á asegurar que punto menos que imposible, leer, si así puede decirse, en las entrañas de la tierra á un kilómetro de profundidad y á seis kilómetros de distancia horizontal; sin embargo, la ciencia geológica dá, ya que no *resultados positivos é indicaciones seguras para nuestro objeto*, algunos datos que siempre importa conocer.

Muchos geólogos, entre los cuales se encuentra Mr. Beaumont, el sabio Angel Sismonda y el señor de Collegno, han estudiado la gran masa de rocas en que ha de abrirse el Túnel; y de sus estudios y observaciones se deduce que la montaña del puerto de Frejus, bajo el cual pasa la galería, está formada por un levantamiento del terreno, debido sin duda á una enérgica presion subterránea, y que en virtud de esta circunstancia aparece en el valle del Arc un gran corte geológico, en el cual puede estudiarse la naturaleza de las diversas capas que constituyen el terreno, y que son en su mayor parte calizas

de diversas clases, cuarcitas, arcillas cuarzosas, etc., etc.

De la naturaleza de las rocas que la galería ha de atravesar, y de las circunstancias en que ha de hallarse, nacen, por decirlo así, dos series de dificultades, por las que en último resultado, y aun suponiendo que no fuesen tales que hicieran imposible la prosecucion de los trabajos, resultaria siempre ser necesario un número considerable de años para terminar la obra. Y en efecto, siendo imposible practicar pozos que multiplicando los puntos de ataque reduzcan considerablemente el tiempo preciso para la ejecucion de la galería, pues como hemos indicado al tratar de las alineaciones, la longitud de dichos pozos seria de 800, 1.000 y 1.200 metros; no quedando por consiguiente mas recurso que atacar el túnel por las dos bocas; y por último, teniendo que atravesar constantemente calizas y cuarcitas, es decir, rocas en extremo duras y resistentes; la perforacion habia de ser lenta y difícil, á menos que no se acudiera á métodos hasta hoy no empleados ni conocidos, y que por su escelencia y perfeccion permitieran acelerar notablemente los trabajos. Empleando los procedimientos ordinarios, y teniendo en cuenta la resistencia de las rocas, solo podria avanzar el túnel en 24 horas 0^m,5 por cada uno de los puntos de ataque, ó sea un metro por dia; y aun esto organizando los trabajos de suerte que ni de dia ni de noche cesara la perforacion. Resultan, pues, en esta hipótesis 12.500 dias, ó sean 54 años próximamente para la apertura del túnel, aun sin contar con obstáculos imprevistos, que no es imposible se presenten. Ante esta dificultad el dilema era terminante: ó inventar algun sistema, algun método especial para la perforacion del túnel; algo que saliera de lo comun y de lo ordinario; mas enérgico en cuanto á fuerza, y mas veloz en cuanto á tiempo que todo lo que hasta aqui se conocia; ó renunciar por completo á una obra que, suponiendo que marchase felizmente hácia su término, solo allá á fines del siglo podria terminarse. Mas este invento existe: su ensayo en gran escala dentro de poco comenzará, ó quizá haya comenzado cuando estas líneas vean la luz pública; y si un éxito feliz corona los esfuerzos y los traba-

jos de los inventores, bien puede decirse que los Ingenieros Sommeilleur, Grandis y Grattoni habrán hecho dar un gran paso á la ciencia de la construccion, en lo que á la apertura de túneles y subterráneos se refiere.

Aceptando la pólvora como medio de atacar la roca, y considerando los Ingenieros piemonteses que el elemento que mas influia en el tiempo necesario para la preparacion de los barrenos era el empleado en abrirlos, y que las demas operaciones de carga, voladura, etc., solo representaban una fraccion mínima del tiempo total, plantearon y resolvieron los dos problemas siguientes: 1.º, buscar un mecanismo rápido y seguro para abrir en la roca los agujeros de los barrenos, el cual mecanismo reemplace al trabajo á mano de los obreros, siempre lento y pesado. 2.º, buscar un motor que ponga en movimiento este mecanismo, que ademas pueda establecerse fuera de la galería para no embarazar las faenas, y cuyo efecto se trasmita al punto de ataque fácilmente.

La resolucion de estos dos problemas se funda en dos aparatos que mas adelante describirémos, y que han recibido los nombres de *compresor hidráulico* y *perforador*. Al mismo tiempo han procurado los inventores poner en armonía la solucion de ambas cuestiones con el problema de la ventilacion, y á este fin eligieron como motor el aire comprimido, desechando el vapor que ni hubiera podido llevarse á grandes distancias por medio de tubos sin que se condensase, ni dado caso que fuera posible su preparacion en el interior del túnel podria emplearse por el insufrible calor que desarrollaria. (Apéndice, núm. 5.)

Así, pues, el compresor hidráulico condensa grandes cantidades de aire que lanzadas al fondo de la galería se utilizan, del modo que mas adelante esplicarémos, ya como fuerza motriz, ya para la ventilacion.

Hasta aquí nos hemos referido á la dificultad relativa al tiempo, pero íntimamente enlazadas con ella surgen otras muchas, ó cuando menos, asaltan al ánimo graves temores sobre los obstáculos que pueden presentarse en el interior de la montaña; ¿no podrán encontrarse en efecto grandes cavernas sin

fondo que imposibiliten la continuacion de la obra; depósitos interiores de agua, que se rompan repentinamente é inunden la galería; estensos y profundos lagos que interrumpen el paso; rocas en descomposicion que se desplomen? ¿Y todo esto y quizá algo mas que no es fácil predecir, no ocasionará dificultades inmensas, y quién sabe si hasta hará imposible la ejecucion de los trabajos?

Cuando se trata de una galería que ha de practicarse á 4.600 metros bajo la cresta de una montaña y que ha de recorrerla en una estension de más de dos leguas, todo esto por desgracia es posible; que no es fácil adivinar lo que podrá suceder en el interior de los Alpes, y solo conjeturas mas ó menos probables pueden hacerse. Y sin embargo, cuando de obras de tal importancia se trata, no solo por lo que significa la obra en sí misma, sino por las aplicaciones que del nuevo sistema podrán hacerse á otros casos análogos, algo hay que dar al genio, y algo hay tambien que arriesgar en la empresa en cambio de las grandes ventajas que racionalmente deben esperarse. Bien sabemos que generalmente se juzga de las cosas por el éxito, y que se aplaude al que triunfa y se menosprecia al que es vencido; mas ello es lo cierto que cuando una obra como la de la perforacion de los Alpes se intenta y con tanta inteligencia se inicia, la reputacion de los Ingenieros Directores queda siempre muy alta, sean cuales fueren los resultados.

Si por una parte debe considerarse que la imaginacion crea obstáculos y quizá abulta exageradamente los que existen, como suele abultar todo lo desconocido; debe por otra parte notarse tambien que la galería de Mont-Cénis solo es, comparada con el volumen total de la montaña, una fraccion mínima, un filete infinitamente estrecho que de una á otra vertiente, y á una gran distancia de la cumbre la atraviesa; y que no es por lo tanto probable, —á menos que no se suponga que son los Alpes una especie de esponja en que el volumen aparente es la décima ó la centésima parte del verdadero,— que no es probable, repetimos, aunque es posible, que se encuentren esas grandes bolsas de agua, esos estensos lagos, esas cavidades enormes á

las cuales precisamente ha de ir á dar el túnel, y de las que es imposible, en sentir de algunos, que pueda pasar. Quizá se encuentren de trecho en trecho pequeñas cavernas; pero en tal caso, como dice el Sr. Menabrea en su discurso sobre el paso de los Alpes, « tanto mejor, eso nos ahorramos de escavacion; » tal vez se presenten, ya grandes filtraciones, ya rocas durísimas, ya por el contrario masas blandas que amenacen desplomarse; mas obstáculos son estos que ha vencido en mil ocasiones el arte, y que es de esperar venza tambien en la ocasion presente.

Pero dejando aparte este punto, del cual sin embargo mucho mas pudiera decirse, aun se ha señalado otra dificultad para la perforacion, y es esta la elevada temperatura que reinará en el interior de la galería. Calculando por término medio de muchas observaciones que la temperatura aumenta un grado por cada treinta metros de profundidad, y teniendo en cuenta que el túnel se halla á 1.600 metros bajo la cima de la montaña, resulta una temperatura de $\frac{1.600}{30} = 50$ grados próximamente, para el centro del túnel; y aunque se trabaja en algunas minas con temperaturas mas elevadas, es la verdad que en tales condiciones los obreros trabajan fatigosa y difícilmente. Por fortuna hay una causa poderosa de enfriamiento en el fondo del túnel, y esta es la repentina dilatacion del aire comprimido que se lanza, ya para purificar el ambiente, ya como fuerza motriz, y que absorbiendo una gran cantidad de calórico, produce un rápido descenso en la temperatura. Es tan enérgica esta causa, que en las esperiencias emprendidas en grande escala en Coscia para juzgar del efecto de los nuevos aparatos, el aire comprimido al salir de los perforadores y dilatarse, helaba, por el rápido descenso de temperatura, el agua con que estaba en contacto.

A mas de esto, los 50° de temperatura son un límite superior que solo podrá tener lugar en el centro del subterráneo, y de ninguna manera en los primeros kilómetros inmediatos á las bocas ó puntos de ataque.

Así, pues, en resúmen, el aire comprimido tiene aun triple objeto; *se utiliza como fuerza motriz, se emplea como medio*

enérgico de ventilacion, y por último, *reduce la temperatura á límites convenientes*.

Procuremos ahora, y antes de entrar en mas detalles, dar una idea general del sistema de organizacion de los trabajos, así como de los elementos principales de la obra.

Idea general del sistema seguido para la perforacion del túnel.

Elegidos los dos puntos en que han de establecerse las dos bocas del túnel, y determinada la proyeccion horizontal de su eje, cuestiones en que no entraremos por ser completamente ajenas á nuestro objeto, cumpla ante todo fijar las dimensiones y la forma de la seccion trasversal, y como principal elemento de esta el ancho en la parte inferior, ó sea en el suelo de la galería.

Aunque las líneas de empalme con Susa y con Modane no son mas que para una vía, el túnel debe necesariamente construirse para dos: de otro modo, la menor detencion, el menor accidente, podrian traer consigo sensibles consecuencias; y á mas de esto es necesario que el humo tenga espacio en que estenderse, y no sea arrastrado por el tren y arrojado sobre los coches. Así pues varios Ingenieros han juzgado que era indispensable dar á la galería una seccion de 70 metros cuadrados, y de esta hipótesis, como de la única aceptable, parte Mr. Flachat en una obra que ha publicado recientemente, al hacer algunas observaciones sobre el túnel de Mont-Cénis.

La seccion sin embargo, no será uniforme en toda la longitud en razon á que en una de las bocas el eje del túnel presenta una curva de entrada, y que por este motivo ha sido preciso dar en toda la estension de dicha curva mayor ensanche al subterráneo.

Quizá en algunos trozos del túnel sea inútil el revestimiento por la dureza y consistencia de la roca; pero en cambio será preciso revestir otra gran parte, y esto es lo que ha sucedido ya

en el extremo de la galería correspondiente al lado de Bardoneche; mas como la buena piedra de sillería es sumamente escasa en la localidad, ha sido forzoso acudir á un sistema misto, revistiendo el túnel con sillarejos próximamente hasta los arranques, y volteando sobre estos dos muros una bóveda de ladrillo. (Véase el Apéndice, núm. 6.)

Resueltas las diversas cuestiones que acabamos de apuntar ligeramente, pues tienen poca relacion con nuestro principal objeto, debemos indicar cuál es el orden seguido en los trabajos de perforacion. La causa que principalmente se opone á que la obra marche con la rapidez que fuera de desear, es la poca estension que presenta para el trabajo el fondo del túnel; y como en tan corta superficie es imposible colocar á la vez gran número de obreros, por mucha que sea la gente de que se disponga, de aquí que la rapidez de la perforacion quede subordinada y sujeta á la velocidad con que la cuadrilla que ataca el fondo de la galería pueda avanzar.

Hé aquí como se ha tratado de vencer este inconveniente.

Se abrirá, valiéndose de los perforadores y aplicando los nuevos procedimientos inventados al efecto, una pequeña galería de 6 á 8 metros cuadrados de seccion (Apéndice, núm. 6) que siga el eje del túnel, la cual avanzará tres metros por dia segun el cálculo hecho por los Ingenieros piamonteses; y de este modo se aumentará en los dos costados la superficie de trabajo, á fin de que nuevas cuadrillas desmonten el resto de la roca y ensanchen el túnel hasta su seccion definitiva, mientras la pequeña galería continúa avanzando y preparando, por decirlo así, nueva superficie de trabajo.

La rapidez de la obra depende pues de la velocidad con que la galería de ataque penetre en la monaña, y como segun el cálculo que acabamos de indicar será esta de tres metros por dia, ó sean seis metros contando con los dos puntos de trabajo correspondientes á las dos bocas, resulta que el tiempo necesario para la terminacion del túnel será $\frac{12,500}{6} = 2083$ dias, ó sean próximamente seis años.

A fin de tener grandes cantidades de aire comprimido que

puedan llevarse al fondo de la galería, ya para la ventilación, ya como fuerza motriz, se están disponiendo á cierta distancia de las dos bocas varias calderas de palastro, en las que se inyectarán valiéndose del compresor hidráulico 98.064 metros cúbicos de aire cada 24 horas, reduciéndolos á la sexta parte de su volúmen, ó sea á la presión de seis atmósferas. Estas calderas son grandes depósitos de fuerza motriz y de aire respirable que según las necesidades lo exijan se llevará por medio de tubos al fondo de la galería. El pensamiento de los Ingenieros Sommeilleur, Grandis y Grattoni es pues sencillo y natural en el fondo, á la par que grande y valiente, si se nos permite esta palabra, en la forma, tanto por la novedad que ofrece como por la gran escala en que se aplica.

El exámen de la figura 4.^a que representa la planta del túnel en un momento cualquiera de los trabajos, hará comprender mejor lo que acabamos de explicar; pero debemos advertir que tanto esta como las demás figuras y proyecciones que presentamos no están sujetas á escala, pues nos fué imposible copiar plano alguno ni aun tomar las dimensiones principales de la obra; y aparte de algunos datos importantes que con la mayor amabilidad nos proporcionó el general Menabrea, solo á lo que verbalmente se nos dijo y á lo que hemos podido conservar en la memoria, hemos tenido que atenernos para redactar esta noticia.

He aquí la disposición de los trabajos.

- $m n m' n'$. . Parte ya hecha del túnel.
- $a b a' b'$ Pequeña galería de ataque.
- $b b'$ Superficie de la roca contra la cual trabajan los perforadores
- A. Perforadores.
- ab } Superficie de ataque para desmontar la par-
- $a' b'$ } te B B'.
- B. } Prisma que se ha de desmontar para ensanchar
- B' } la galería de ataque hasta la dimension $n n'$.
- M. N. } Revestimiento.
- M' N'. }

P.	}	Espacio que ha de ocupar el revestimiento.
P'.		
v. v. v.	}	Tubos que conducen el aire comprimido á los perforadores.
v' v' v'		
FF.	}	Vias de servicio. A lo largo de una de ellas corre el perforador A.
FF.		
FF.		
C.	}	Cuneta de desagüe para las filtraciones.
C.		

De la descripción que antecede resulta, que el objeto de la galería de ataque ab $a' b'$ no es otro que el de preparar una extensa superficie de trabajo ab , $a' b'$, en la cual puedan colocarse un número suficiente de obreros.

Entremos ahora en la descripción detallada de los diferentes aparatos que mas arriba hemos indicado, y que constituyen la parte esencial del sistema empleado para la ejecución de la obra, dividiendo para mayor claridad cuanto vamos á esponer en los dos grupos siguientes:

- 1.º Compresores: tubos de conduccion: obras accesorias.
- 2.º Perforadores.

COMPRESOR HIDRÁULICO.

TUBOS DE CONDUCCION, OBRAS ACCESORIAS.

Compresor hidráulico.

Noticia histórica. Sucede casi siempre que aparece un invento útil ó del que al menos se esperan grandes ventajas, que se disputa acaloradamente sobre la prioridad de la invencion, y que nunca faltan buenas razones en que fundar sus derechos á cada uno de los inventores: esto en efecto ha sucedido con el mecanismo que nos ocupa. Han disputado á los Ingenieros piamonteses el mèrito de la invencion del compresor hidráulico, no solo algun otro Ingeniero italiano, sino el célebre Ingeniero francés Mr. Anatolio de Caligny. En su escrito titulado, «Notice historique et critique sur les machines á compression d'air du Mont-Cenis», se esfuerza en demostrar que el principio de física en que se funda dicho aparato ha sido descubierto por él; y que entre los muchos mecanismos que en su larga carrera científica ha inventado se hallan los que han podido servir de modelo á los Ingenieros piamonteses. Poseído de esta idea, y deseando sostener sus derechos científicos, ya que no otro género de derechos á que, segun dice, renuncia generosamente, hizo reiteradas reclamaciones y hasta acudió á la embajada francesa en Turin para que se le facilitáran todo género de de-

talles y noticias sobre las experiencias relativas á los aparatos de compresion, pretendiendo ejercer, por decirlo así, una especie de tutela ó alta direccion sobre los Ingenieros, y sobre las obras. Sin prejuzgar la cuestion de prioridad, ni mucho menos poner en duda el indisputable mérito de Mr. Caligny, á quien su claro talento, su gran ingenio y su estraordinaria laboriosidad han dado una merecida y envidiable reputacion, es lo cierto, que el principio que sirve de base á los compresores hidráulicos es tan sencillo y tan trivial, si así puede decirse, que bien ha podido ocurrir á los Ingenieros piamonteses, como á él mismo, ó como á otro cualquiera, sin que haya en todo ello, ni copia, ni imitacion.

Mas dejando esto aparte, conviene recordar que cuando se consigna una verdad científica ó una ley de la naturaleza en una obra, y esa obra es leida y estudiada, y el nuevo descubrimiento es de todos conocido, viene á fundirse en la masa general de verdades que son patrimonio y propiedad de todos los hombres, y no de este ó de aquel en particular; y que por lo tanto han podido aprovechar los Ingenieros Grandis, Grattoni y Sommeilleur, aun sin haberla descubierto, la ley física que sirve de base á su mecanismo del modo que han creido mas conveniente, sin que esto confiera á Mr. Caligny derechos de ningun género que justifiquen sus estrañas pretensiones, y más aun, cuando él mismo renuncia á los derechos que las leyes podrian haberle dado si hubiera obtenido privilegio de invencion por cada uno de los aparatos que há mas de 25 años viene inventando, ó por cada una de las leyes físicas que ha descubierto, ó que ha dado nueva forma.

Teoria del compresor. Indicarémos ante todo las partes principales de que se compone el aparato, y véase para la mejor inteligencia de la esplicacion la figura 5:

A A A... Representa un depósito de agua que supondrémos es de nivel constante.

A B C D... Tubo doblemente encorvado en forma de sifon invertido, y que se une por su parte superior á una caldera ó depósito de aire.

B y C. . . . Son dos llaves ó válvulas: la primera sirve para establecer la comunicacion entre los dos brazos del sifon, y la segunda para dar salida al agua contenida en la rama C D.

a. Válvula que se abre de fuera adentro y que sirve para dar entrada al aire en dicha rama C D.

D. Válvula que se abre girando hacia el interior del depósito E.

E. Caldera ó depósito de aire comprimido. Al comenzar el aparato á funcionar está lleno de agua, cuyo nivel desciende hasta M M á medida que se inyecta aire en la caldera.

b b'. Tubo que pone en comunicacion la caldera con un depósito F de nivel constante.

F. Depósito de nivel constante por el cual se mantiene el aire de la caldera E á la misma presion próximamente mientras trabaja el compresor. Esta presion está representada por el peso de una columna de agua cuya altura es la distancia entre los dos niveles *ff* y M M.

Supongamos que el aparato comienza á funcionar y que se halla en las siguientes condiciones: que las llaves B y C estan cerradas; el sifon lleno de agua desde A hasta C; la válvula *a* abierta y el tubo C D lleno de aire; por último que la válvula D está cerrada y la caldera E llena de agua.

Si abrimos la llave B el agua se precipitará en la rama CD en virtud de la diferencia de nivel que existe entre *cc* y A A, comprimirá el aire contenido en dicha rama y cerrará la válvula *a*. La tension del aire en la rama ascendente del sifon aumentará de una manera continua, y oprimirá cada vez con mas fuerza la válvula D, hasta que al fin escediendo la presion que ejerza sobre dicha válvula á la que el agua del depósito produce en virtud de la diferencia de nivel que hay entre *ff* y el punto D, la válvula se abrirá y una cierta cantidad de aire comprimido pasará al depósito E desalojando un volumen de agua igual al suyo que subirá por el tubo *b b'*.

Cuando la fuerza viva de la columna líquida se amortigüe, la válvula D se cerrará por su propio peso, y si en este instante se cierra la llave B y se abre la C, la columna líquida $cc'c'$ saldrá del tubo produciendo en él un vacío; la presión atmosférica abrirá la válvula a , y una masa de aire igual á la que ha penetrado en el depósito E entrará en la rama ascendente del sifon. Así, pues, el aparato se hallará en las mismas condiciones que al principio, y si de nuevo se abre la válvula B y se cierra la C, una nueva escursion comenzará y se recogerá otro nuevo volúmen de aire igual al primero en dicho depósito E.

De este modo se almacenará, por decirlo así, en la caldera E un cierto volúmen de aire á una presión representada por la altura $h h'$.

Tal es la sencillísima teoría del compresor, análoga á la de otros muchos aparatos de columna de agua empleados, ya para elevar agua á cierta altura, ya para la ventilacion.

Antes de concluir este punto debemos hacer algunas observaciones.

1.ª *Observacion.* En el movimiento de la columna líquida conviene distinguir dos periodos. *Primero*; desde el instante inicial hasta aquel en que la superficie de la columna líquida llegue á una posición $d d'$ tal que la presión del aire contenido en D $d d'$ sea igual á la correspondiente á la altura $m n$. Si fuera posible que la masa líquida llegase á esta posición sin velocidad adquirida ó sin fuerza viva, el sistema estaria en equilibrio; mas como en todo el trayecto $c d$ la fuerza motriz ha sido superior á la resistente, la masa líquida llega á la posición $d d'$ con una cierta fuerza viva acumulada y pasa por esta razón de dicho punto d . *Segundo*: desde esta posición dd' hasta la posición final cc' . En todo el trayecto dc' la resistencia es superior á la fuerza motriz, y la fuerza viva del sistema disminuye continuamente hasta reducirse á cero.

Debe notarse además que la inercia del aire y del agua del depósito E, así como los rozamientos, codos y otras resistencias pasivas reducen las dos longitudes $c d$, $d c'$ á límites menores que los indicados anteriormente.

2.^a *Observacion.* Si se supone que la altura $h h'$ es muy grande relativamente á la altura $h' k$ de la caldera, es claro que en todos los instantes del trabajo del compresor puede suponerse que la presion del aire en el depósito E es constante é igual á la que corresponde á dicha altura $h h'$.

3.^a *Observacion.* Hemos supuesto para la esplicacion del aparato que se movian á mano las llaves B y C; pero es evidente que aprovechando una pequeña parte de la fuerza del compresor, puede hacerse que la misma máquina las ponga en movimiento en los instantes oportunos por medio de mecanismos sencillísimos análogos á los empleados en las máquinas del vapor.

4.^a *Observacion.* La superficie del depósito regulador F puede, y para el caso de que se trata debe ser superior á la superficie AA del depósito principal; pero esta diferencia de nivel tiene un límite teórico que no se puede escocer, y al cual tampoco debe nunca llegarse. Véase acerca de la determinacion de este límite la nota II.

Conocida la teoría del compresor hidráulico, pasemos á su aplicacion al caso que nos ocupa, y calculemos á este fin *cuál es el efecto útil del aparato; cual la cantidad de aire necesaria, tanto para el trabajo de los perforadores como para la ventilacion; y examinemos por último, si con las caídas de agua que en Modane y Bardoneche existen puede obtenerse una fuerza motriz suficientemente enérgica.*

Para ello estudiaremos las tres cuestiones siguientes:

1.^a *Cuestion.* Trabajo que es necesario desarrollar para reducir 6 decímetros cúbicos de aire con la presion de una atmósfera á la 6.^a parte de su volumen, ó sea á un decímetro cúbico.

2.^a *Cuestion.* Trabajo que puede desarrollar el compresor y efecto útil del mismo.

3.^a *Cuestion.* Cantidad de aire necesaria para la perforacion del túnel.

PRIMERA CUESTION; TRABAJO NECESARIO PARA REDUCIR SEIS
DECÍMETROS DE AIRE Á UN DECÍMETRO CÚBICO.

Imaginemos (fig. 6.^a) un cilindro $AB A'B'$ cerrado por uno de sus extremos, y dentro del cual desliza un émbolo CD : supongamos además que el espacio $CD B B'$ está lleno de aire á la presion P . Si el émbolo pasa de la posicion CD á la $C'D'$, el aire que ocupaba el espacio $CD B B'$ ocupará un espacio menor $C'D' B B'$, y para producir este efecto, habrá sido preciso ejercer cierto esfuerzo sobre la varilla del émbolo á todo lo largo del camino CC' ; ó dicho de otro modo, desarrollar cierto trabajo motor igual al trabajo resistente del aire. Ahora bien, si la fuerza que actuaba sobre el émbolo cesa en su accion, el aire comprimido reobrará, y suponiendo que la velocidad del émbolo es infinitamente pequeña, le empujará hasta su posicion primitiva, desarrollando un trabajo motor igual teóricamente al que se empleó para comprimirlo, y que representará por lo tanto el trabajo acumulado en el volúmen $C'D' B B'$ de aire comprimido. En resúmen, para apreciar el trabajo acumulado en un cierto volúmen de aire comprimido, basta calcular cual es el trabajo necesario para reducirlo á dicho volúmen; y por consiguiente si queremos calcular el trabajo acumulado en cada decímetro de aire á la presion de 6 atmósferas, basta que calculemos el trabajo necesario para reducir 6 decímetros cúbicos de aire, con la presion atmosférica, á un decímetro cúbico á la presion de 6 atmósferas.

Admitamos para facilitar el cálculo las notaciones siguientes:

- ω Area del émbolo, ó sea de la seccion del cilindro.
 - CD Posicion inicial del émbolo.
 - $C'D'$ Posicion final.
 - cd Posicion intermedia.
 - $c'd'$ Posicion infinitamente próxima á la anterior.
 - L
 - L'
 - l
 - $l - cc' = l - dl$
- } Distancias de estas cuatro posiciones al plano BX .

- $c c'$ Es la diferencial de l y la representamos por $d l$.
 V Volúmen de $C D B B'$.
 V' Volúmen de $C'D'B B'$.
 v Volúmen de $c d B B'$.
 P Presion inicial del aire encerrado en el espacio $C D B B'$.
 p Presion correspondiente al volúmen $c d B B'$.
 T Trabajo acumulado en el volúmen V' .

En virtud del principio de Mariotte, y suponiendo invariable la temperatura, tendremos

$$\frac{P}{P} = \frac{V}{v} \text{ ó bien } p v = P V;$$

de donde resulta para la presion por unidad de superficie en un instante cualquiera, correspondiente á la posicion cd del émbolo,

$$p = \frac{P V}{v}.$$

La presion sobre toda la superficie del émbolo será

$$p \omega = \frac{P V}{v} \omega;$$

y el trabajo resistente del aire al pasar el émbolo de la posicion $c d$ á la $c' d'$

$$p \omega d l = \frac{P V}{v} \omega d l.$$

El trabajo resistente, ó su igual el trabajo motor, ó por último el trabajo acumulado sobre el volúmen V' , será, prescindiendo del signo,

$$T = \int \frac{P V}{v} \omega d l,$$

tomando la integral desde la posicion CD hasta la $C'D'$.

Finalmente, poniendo en vez de v su valor ωl , simplificando é integrando, tendremos:

$$T = \int \frac{P V}{\omega l} \omega d l = P V \int_{L'}^L \frac{d l}{l} = P V \log. \frac{L}{L'};$$

ó tomando logaritmos ordinarios,

$$T = P V \log. \frac{L}{L'} \times \text{módulo} \dots \dots (1)$$

Apliquemos esta fórmula al cálculo del trabajo acumulado

en un decímetro cúbico á la presion de seis atmósferas.

Tendremos en este caso

$$V = 6 \text{ decímetros cúbicos} = 0,^m3006;$$

$$P = 4 \text{ atmósfera} = 10,350 \text{ kilogramos por metro cuadrado};$$

$$V' = 1 \text{ decímetro cúbico} = 0,^m3001;$$

$$\text{módulo} = 2,303.$$

Sustituyendo en la fórmula (1), y observando que $\frac{L}{L'} = \frac{V}{V'} = 6$, obtendremos por último :

$$T = 0,006 \times 10,350 \times 2,303 \times \log. 6 = 111 \text{ kilográmetros} = 1,^c48.$$

Resulta del cálculo precedente, que cada decímetro cúbico de aire á la presion de seis atmósferas, contenido en el espacio E, puede por su expansion ejercer un trabajo equivalente á 111 kilográmetros, ó sea caballo y medio de vapor próximamente; y que por lo tanto el compresor hidráulico ha trasformado el trabajo de la caida de agua en otro trabajo mecánico, condensado, por decirlo así, en la caldera E. Este trabajo acumulado puede emplearse segun convenga, ya como motor para los perforadores, ya para la ventilacion.

Sin embargo, muchos ingenieros han combatido el uso del aire comprimido como fuerza motriz, y las razones en que se fundan son, á decir verdad, muy atendibles. Para que el volumen V' de aire á la presion de 6 atmósferas desarrolle todo el trabajo que ha sido preciso emplear para su compresion, es indispensable que recobre su volumen inicial V , y esto hace necesaria la expansion completa del gas; pero sabidos son los inconvenientes que trae consigo en todas las máquinas de este género, lo mismo que en las máquinas de vapor, una expansion escesiva, entre otras razones por las irregularidades que en el trabajo resultan; y sabido es tambien, que nunca, por esta causa, puede ir la expansion mas allá de cierto límite fijado de antemano por la esperiencia. Si pues el aire comprimido no puede adquirir su volumen inicial V , es evidente que una parte del trabajo que se empleó en su compresion queda completamente perdida, y que la masa de aire que en la caldera se recoja solo dará una fraccion que, segun Mr. Mauss, es generalmente la mitad y á veces la cuarta parte de dicho trabajo, resul-

tando una pérdida de la mitad ó de las tres cuartas partes del total. Mas aun prescindiendo de estas consideraciones, es evidente que emplear una fuerza cualquiera, una caída de agua por ejemplo, en comprimir aire, para que este aire comprimido obre despues como motor, es dar un rodeo, ó introducir sistemas intermedios de trasmision que han de ocasionar una pérdida del efecto total, y cuyo uso nunca estará justificado, á menos que, como aquí sucede, el motor primitivo no pueda directamente ejecutar el trabajo útil por la naturaleza y circunstancias del problema.

En efecto, la imposibilidad de situar el motor en el interior de la galería, la dificultad de transmitir su accion por cuerdas y poleas desde la parte exterior á distancias de 2, 3, y hasta 6 kilómetros, como en el sistema de Mr. Mauss se proyectaba, y sobre todo la circunstancia de ser indispensable una gran masa de aire puro para la ventilacion, hacen ventajoso el empleo del aire comprimido en el caso presente, en que mas bien que como fuerza motriz, se necesita y se utiliza para purificar la atmósfera.

Cuando calculemos cuál es el volúmen de aire que á cada uno de estos dos objetos corresponde, verémos comprobada esta verdad, y podremos apreciar mejor las ventajas del compresor hidráulico, que sin alcanzar ese grado de perfeccion que algunos le atribuyen, es sin duda uno de los mejores entre todos los sistemas que se han propuesto para la ejecucion del túnel.

SEGUNDA CUESTION: CÁLCULO DEL EFECTO ÚTIL DEL COMPRESOR.

Antes de aceptar el sistema propuesto por los Ingenieros Sommeilleur, Grandis y Grattoni, el gobierno piemontés nombró una comision que examinase los nuevos aparatos, para que sometiénolos á esperimentos repetidos, pudiese apreciar sus ventajas y sus inconvenientes, y de este modo se procediese en adelante sobre un dato cierto y positivo.

El resultado de estas experiencias fué en extremo satisfactorio: la máquina, segun dice uno de los miembros de la comi-

sion, «marchaba con una regularidad perfecta, debida á su gran sencillez y á la armonía de sus diferentes elementos, y su peraba, por su bondad intrínseca y por su efecto útil, á cuanto respecto á la compresion del aire se habia hecho en la industria anteriormente.»

Entremos ahora en algunos detalles respecto al cálculo de dicho efecto útil.

Segun los datos de la comision, en 35 golpes ú oscilaciones del compresor se gastaban 23.478 litros de agua cayendo de 25^m,95 de altura, y se obtenian en el depósito E (fig. 5) 2.682,86 litros de aire á seis atmósferas: así, pues, el trabajo motor de la caída en dicho periodo es igual á

$$23.478 \times 25^m,95 = 562.298 \text{ kilográmetros.}$$

Por otra parte, como cada decímetro cúbico de aire comprimido á seis atmósferas puede desarrollar teóricamente un trabajo igual á 111 kilográmetros, se deduce que los 2.682,86 litros de aire comprimido representan un trabajo acumulado en la caldera E igual á

$$2.682,86 \times 111, \text{ ó bien } 297.797 \text{ kilográmetros.}$$

Resulta, pues, que con 562.298 kilográmetros se han acumulado 297.797 kilográmetros, y que por lo tanto el coeficiente práctico de efecto útil, ó sea la relacion entre el trabajo consumido y el acumulado, es igual á

$$\frac{297.797}{562.298}; \text{ ó bien, } \textit{coeficiente de efecto útil} = 0,53.$$

Debemos advertir, sin embargo, que en otras esperiencias los resultados no han sido tan ventajosos, y que debe tomarse por este motivo un coeficiente algo inferior á 0,53: la comision fija este nuevo valor en 0,50. (Véase el Apéndice, núm. 6.)

Antes de pasar adelante debemos hacer sobre este punto dos observaciones.

1.^a *Observacion.* Mr. Minotto, Sub-director de Telégrafos eléctricos en Cerdeña, ha publicado un juicio crítico del sistema seguido para la perforacion del túnel, y en dicho trabajo, al examinar el punto relativo al compresor hidráulico, sostiene que el coeficiente de efecto útil, arriba indicado, es algo superior al verdadero por no haber tenido en cuenta 237,5 litros, que al fin

de la operacion quedaron en la caldera E, procedentes del depósito F situado á 51^m,5 sobre el nivel M M. Estos 237,5 litros gastados ademas de los 23.478 del depósito A, y que han caido de 51^m,5 de altura, representan, dice Mr. Minotto, un trabajo motor consumido igual á

$237,5 \times 51,5 = 12.231,25$ kilográmetros, cantidad que debe sumarse con los 562.298 kilográmetros anteriormente calculados, para apreciar la fuerza motriz total.

El coeficiente de efecto útil será en esta nueva hipótesis $\frac{299.797}{574.529} = 0,518$.

Aunque la diferencia entre uno y otro resultado es pequeña, debe notarse sin embargo, para desvanecer todo género de duda, que la observacion de Mr. Minotto no tiene la fuerza que á primera vista pudiera creerse. En efecto, estos 237,5 litros no constituyen un verdadero gasto de fuerza motriz, ni se consumen constantemente por cada 2.682,86 litros acumulados en la caldera: puede gastarse este volúmen de aire, volverse á llenar el depósito, y repetirse esta operacion dos, tres, y hasta cien veces, y al cabo de estas cien operaciones, es decir, despues de haber comprimido 268.286 litros, el volúmen de agua en el depósito E no escederia del volúmen primitivo 237,5 litros, pérdida constante que se reparte en un número de litros cada vez mayor: y se comprende desde luego que así debe ser, porque el agua del depósito F no hace otro oficio que el de una verdadera válvula hidráulica cargada con una presion de 51^m,5 de agua.

El gasto que por este concepto se origine dependerá tan solo de las filtraciones, evaporaciones, interrupciones en el trabajo del compresor, y será insignificante en comparacion del total.

2.^a *Observacion.* Segun indica Mr. Minotto se midieron los 2.682,86 litros acumulados en el depósito, despues de haberse verificado la compresion; pero como esta dá lugar á un exceso de temperatura sobre la del ambiente de mas de 22°, resulta que se ha medido dicho volúmen á una temperatura muy elevada, y que se ha calculado por lo tanto un volúmen mayor que el correspondiente á la temperatura de la atmósfera.

La fórmula $V = V' (1 + \alpha 22)$, en la cual V representa el volúmen 2.682,86 medido directamente, V' el volúmen á la temperatura ordinaria, y α el coeficiente de dilatacion, dá el volúmen reducido V' : tendrédmos pues,

$$V' = \frac{V}{1 + \alpha 22} = \frac{2.682,86}{1 + 22 \times 0,00366} = 2.484,13.$$

En esta nueva hipótesis el trabajo acumulado solo seria $2.484,13 \times 111 = 275.738, \text{ k.}^{\text{m}} 43$, y el coeficiente de efecto útil

$$\frac{275.738}{562.298} = 0,49.$$

Este coeficiente aun resultaria menor, si en vez de suponer el aumento de temperatura de 22° , hubiéramos tomado una cifra mas elevada, como lo fué en algunas esperiencias, segun se deduce de las esplicaciones dadas por la comision.

Sin embargo, hay una circunstancia que modifica este resultado, y es esta, que si bien despues de varias escursiones de la columna líquida la temperatura se eleva, la nueva temperatura queda próximamente constante, y por lo tanto, debe tenerse en cuenta al calcular la tension del gas, como representando dicho aumento de temperatura cierta cantidad de trabajo utilizable: con esta nueva correccion el coeficiente de efecto útil resulta próximamente igual al que mas arriba hemos calculado. (Véase el Apéndice, núm. 6.)

Estas variaciones de temperatura, así como las que esperiamente el aire al pasar desde las calderas á las bocas del túnel, atravesando una atmósfera que podrá estar á 10 y 12 grados bajo cero, para penetrar despues en la galeria donde quizá halle temperaturas de 40° , son ciertamente dignas de tenerse en cuenta al hacer un estudio profundo de la marcha y variaciones de la tension del aire en los tubos; pero no deben influir en el coeficiente de efecto útil que estamos calculando, el cual mide tan solo la bondad mecánica, por decirlo así, del aparato.

A fin de apreciar debidamente las condiciones de este, debemos todavía detenernos un tanto en el estudio de las circunstancias en que la compresion del aire tiene lugar.

Observaciones generales sobre el compresor hidráulico.

Hemos supuesto hasta aquí, que la compresion del aire en el aparato de la fig. 5.^a se verifica del mismo modo que en el cilindro de la fig. 6.^a, lo cual dista mucho de ser exacto. En este último caso el aire queda siempre dentro del mismo cilindro, y prescindiendo del trabajo que se consume en vencer la inercia de su masa, ó en comunicar una pequeña fuerza viva á sus moléculas, el cálculo que hemos hecho es absolutamente riguroso; mas si pasamos ahora al compresor hidráulico, deberémos distinguir dos momentos en la compresion. Mientras la tension del aire en la rama CD sea inferior á 6 atmósferas, que es la tension del aire contenido en el depósito E, la válvula C permanecerá cerrada, y habrá igualdad absoluta entre las condiciones de compresion de dicha masa de aire de la rama CD, y el caso de la fig. 6.^a; pero desde el momento en que la tension en la rama ascendente del sifon es superior á 6 atmósferas, se establece una corriente de aire desde dicha rama hácia el depósito E', y por lo tanto, cada decímetro cúbico de aire que obtengamos en el interior de dicho depósito, supone un trabajo motor igual á 111 kilográmetros,—que es el necesario para la compresion,—y ademas otro trabajo mecánico, del cual hasta ahora nada hemos dicho, y que será sin embargo necesario para lanzar dicho decímetro cúbico al interior del depósito. (Apéndice, núm. 7.)

Calculemos este segundo elemento del trabajo motor, gastado en la acumulacion de aire en la caldera.

Seria largo, aunque no muy difícil, apreciar dicho elemento con toda exactitud, y por este motivo indicaremos tan solo un método aproximado, aunque suficiente, á nuestro entender, para el objeto que nos proponemos.

Cuando la presion en la rama CD es superior á 6 atmósferas la válvula D se abre, y un volúmen infinitamente pequeño de aire pasa del tubo á la caldera; este aumento en la masa de aire del depósito E produce asimismo un aumento infinitamente pequeño de presion, y como la carga del depósito F sobre la superficie MM solo es de seis atmósferas, la masa de aire re-

obra sobre el líquido, y arroja por el tubo bb' un volúmen de agua, igual á dicho volúmen de aire.

El trabajo motor necesario para producir este efecto se compondrá de dos partes: 1.^a, trabajo empleado en vencer la inercia del aire contenido en la rama CD y en la caldera, ó sea en comunicar á sus moléculas una pequeña cantidad de fuerza viva. 2.^a, trabajo empleado en poner en movimiento la columna líquida bb' . El primero de estos efectos es insignificante y puede despreciarse; el segundo es el único que tendremos en cuenta y trataremos de calcular. Así, pues, consideraremos al aire como un medio de trasmision, ó como un resorte, y despreciaremos su masa, con lo que no nos separaremos mucho de la verdad.

Esta hipótesis conduce naturalmente á descomponer un periodo cualquiera de trabajo en instantes sumamente pequeños, y á suponer que en cada uno de estos instantes un decímetro cúbico de aire pasa del tubo al depósito, y un decímetro cúbico de agua pasa del depósito al tubo bb' : aun cuando este efecto, que hemos supuesto que se verifica por oscilaciones periódicas y discontinuas, se verificará realmente por la ley de continuidad, y aunque el aumento de presion no se transmitirá instantáneamente del punto D hasta la superficie MM , así como tampoco coincidirán los movimientos de las dos masas infinitamente pequeñas de aire y de agua, el resultado á que lleguemos será tan exacto como para las esplicaciones prácticas pueda desearse.

Supongamos que sea ω la seccion del tubo bb' (fig. 7.^o) y representemos para abreviar el razonamiento, por V el volúmen de un litro de agua: todos los puntos de la columna líquida bb' deben recorrer un espacio $cc' = dd' = l$, tal que el volúmen de agua $dd'ee'$ que entre en la parte inferior del tubo sea igual á $V =$ un litro.

Tendremos, pues, para determinar la longitud l , ó sea el camino recorrido por la columna líquida bb' , la ecuacion

y de aquí deduciremos $l = \frac{V}{\omega} \cdot \frac{1}{\omega}$.

El trabajo necesario para elevar la columna líquida á la altura l será: *peso de la columna $bb' \times l = \pi \omega L \frac{V}{\omega} = \pi L V$* , representando por π el peso de la unidad de volúmen, y por L la distancia entre los dos niveles ff y MM .

Sustituyendo en vez de π , L y V sus valores $\pi = 1.000$ kilogramos, $L = 51,^m5$, $V = 0,001$, tendremos $T = 51,^k5$: resultado que hubiéramos podido obtener directamente.

Así, pues, para obtener en el depósito un litro de aire comprimido se necesita teóricamente un trabajo igual á

$$111 + 51,5 = 162,5 \text{ kilográmetros.}$$

Debemos ahora, para apreciar la pérdida de trabajo motor que origina el compresor hidráulico, comparar este resultado con el que se deduce de la experiencia. Segun los datos que indicamos anteriormente, se necesitan 562,298 kilográmetros para obtener 2.683 litros de aire comprimido, lo que dá para un litro la cantidad

$$\frac{562.298}{2.683} = 209,^k8.$$

Veamos como puede explicarse esta diferencia entre el resultado teórico que es « 163^{km} por litro, » y el resultado práctico ó sean 210^{km}, para la compresion del mismo volúmen.

Esta diferencia de 47 kilográmetros depende de varias causas que examinaremos separadamente.

1.º Al calcular la cantidad de trabajo motor necesario para la compresion de un litro, hemos prescindido completamente de todas las resistencias pasivas, á saber: rozamientos, pérdidas debidas á los codos, estrechamiento por llaves y válvulas, trabajo empleado en vencer la inercia de las masas, (es decir, trabajo convertido en fuerza viva y destruido inútilmente al terminar la oscilacion, por choques ó reacciones), y todas estas causas, difíciles de apreciar, deben estar, sin embargo, representadas por un cierto sumando en los 47 kilográmetros anteriores.

2.º Hay una causa que ha influido notablemente en esta pérdida de fuerza motriz, y que es tanto mas digna de notarse,

cuanto es mas fácil, ya que no corregirla completamente, por lo menos reducirla á menores proporciones. Una parte del aire comprimido en la rama CD quedaba en el sifon al terminar la oscilacion ascendente, sin pasar por lo tanto al depósito E, y al abrirse la llave C y salir el agua contenida en el tubo, recobraba por expansion su volúmen primitivo: de donde se deduce que todo el trabajo empleado en la compresion de esta masa de aire era completamente perdido para el efecto útil. Segun resulta del informe de la comision esta pérdida puede valuarse en 8 por 100, ó sea de una manera aproximada en 16 kilográmetros.

3.° Por último, la longitud del tubo horizontal del sifon sometido á las esperiencias, era muy pequeña relativamente á las dimensiones generales del aparato, y sabido es, por el estudio del ariete hidráulico y por los trabajos de Mr. Caligny, que cuando se trata de aprovechar la fuerza viva de una columna oscilante, conviene aumentar la longitud horizontal del sifon.

Mr. Caligny, en el folleto que hemos citado anteriormente, combate la disposicion del compresor hidráulico, fundándose en que se dá salida á la columna líquida CD al terminar la oscilacion ascendente, sin aprovechar dicha masa de agua para producir un nuevo efecto útil; pero esta observacion pierde una gran parte de su fuerza, si se tienen en cuenta las dimensiones y la disposicion de los aparatos que actualmente se estan montando en Bardoneche. (Véase el Apéndice, núm. 7.)

Resumiendo lo que llevamos dicho resulta, que para comprimir seis litros de aire, hasta reducirlos á la sexta parte de su volúmen, se necesitan 210 kilográmetros, que pueden distribuirse del modo siguiente:

111 km. para la compresion.

52 km. para arrojar el aire comprimido al depósito.

16 km. por el aire comprimido inútilmente.

31 km. por resistencias pasivas, inercia de las masas, imperfecciones del aparato, etc., etc.

Total 210 kilográmetros.

El coeficiente de efecto útil es como digimos al comenzar el exámen de este punto,

$$\frac{414}{210} = 0,53;$$

sin embargo, es probable que, con las modificaciones que la comision encargada de examinar el aparato indica, se mejore este, y se logre un coeficiente de efecto útil igual á 0,60.

Mas no debe perderse de vista que este coeficiente de efecto útil se refiere únicamente al compresor hidráulico, y que al aplicar el aire contenido en las calderas, ya como fuerza motriz, ya para ventilar la galería, solo se aprovechará una fraccion del trabajo acumulado, que será, cuando mas, equivalente á las dos terceras partes del total; de donde se deduce que el verdadero efecto útil será $0,6 \times 0,6 = 0,36$ del trabajo motor que representa la caida de agua.

Fácil nos seria ahora completar el estudio del compresor presentando la teoría matemática de su movimiento y de su efecto útil; pero á fin de no interrumpir la exposicion general del sistema, ni la descripción de los aparatos empleados en perforar el túnel, solo trataremos dicho punto al final de esta noticia, en la primera de las notas que forman el complemento de nuestro trabajo.

TERCERA QUESTION: CANTIDAD DE AIRE NECESARIA PARA LA PERFORACION.

Conociendo ya la naturaleza del receptor, sus ventajas y sus inconvenientes, y su coeficiente de efecto útil, debemos examinar ahora dos puntos importantísimos para la aplicacion práctica de este mecanismo al paso de los Alpes.

- 1.º ¿Qué cantidad de aire se necesita para la perforacion?
- 2.º ¿Hay fuerza motriz suficiente, en las dos bocas ó puntos extremos del túnel, para acumular dicha cantidad de aire en las calderas, y para lanzarla al fondo del subterráneo?

Estudiemos separadamente estos dos problemas.

Cantidad de aire necesaria para los trabajos de perforacion. Dos elementos, aunque en proporciones muy distintas, forman el gasto de aire durante un periodo fijo, á saber;

1.º Volúmen de aire necesario para el trabajo de los perforadores.

2.º Volúmen necesario para la ventilacion.

El primero de estos elementos representa una parte sumamente pequeña del total, pues, segun el cálculo de la comision, en 24 horas no es superior á 4.000 metros cúbicos á la presion de una atmósfera, ó sean $\frac{4.000}{6} = 667$ metros cúbicos á la presion de seis atmósferas.

Para calcular el gasto relativo á la ventilacion, se supone que la galería de ataque avanza 3 metros en 24 horas, y que se va ensanchando á medida que penetra en la roca, pero de tal suerte, que el túnel siga, por decirlo así, á dicha galería de ataque, á la distancia de 150 ó 200 metros próximamente.

Esto supuesto, hé aquí el cálculo que se ha hecho á fin de apreciar el volúmen de aire necesario en 24 horas para la ventilacion de la galería principal.

Para 167 trabajadores á 240 metros cúbicos de aire por cada uno.	40.080
Para 85 lámparas á 168 metros cúbicos por ca- da una.	13.944
Para la mezcla con los productos de la combus- tion de 80 kilogramos de pólvora, á 250 me- tros cúbicos de aire por kilogramo.	20.000
Total.	74.024

La comision hace ademas notar, que los resultados prece-
dentes suponen el empleo de pólvora de guerra y no de pólvora ordinaria de mina, en razon á que la combustion de esta última pólvora produce óxido de carbono, que es altamente dañoso á la economía animal aun en pequeñas dósís, al paso que la pólvora de guerra dá principalmente ácido carbónico.

Fundándose en los datos anteriores, fija la comision en 12.000 metros cúbicos el aire necesario para la ventilacion de la galería de ataque; y por lo tanto el volúmen total de aire será igual á la suma de las tres partidas espresadas, á saber :

Volúmen de aire para el trabajo de los perforadores en 24 horas.	4.000 m. c.
Volúmen de aire para la ventilacion de la galería principal.	75.924 m. c.
Volúmen de aire para la galería de ataque.	12.000 m. c.
Total.	89.924 m. c.

á la presion de una atmósfera.

Sin embargo, teniendo en cuenta que los 4.000 metros cúbicos empleados como fuerza motriz en los perforadores, después de haber actuado en dichos aparatos, se esparcen en la galería y contribuyen á la ventilacion, se rebajó este volúmen de aire de la suma anterior, quedando por lo tanto reducida esta á 85.924 metros cúbicos.

Así, pues, resulta que la cantidad de aire necesaria en cada uno de los puntos de ataque para el trabajo de la perforacion, es próximamente de 86.000 metros cúbicos á una atmosfera, y este dato ha servido de base á la comision para demostrar la posibilidad práctica del sistema propuesto por los ingenieros piamonteses, si bien es cierto que se ha combatido como excesivamente bajo por algunos ingenieros. Ya verémos mas adelante las razones que en apoyo de esta opinion se han presentado, y las objeciones que sobre este punto se han hecho: por ahora continuemos el exámen general de los principios y bases que han servido de fundamento al proyecto de perforacion que tratamos de describir. (Véase el Apendice, núm. 8.)

Cantidad de aire que puede condensarse con la fuerza motriz de que se dispone en Modane y en Bardoneche. Debemos ante todo observar que, segun se deduce de los datos de la comision y de los presentados por el general Menabrea en la Cámara de Diputados, el problema está resuelto en cuanto á la estremidad norte de la galería, en razon á que el rio Arc lleva un caudal mínimo de 5 metros cúbicos por segundo con una pendiente rapidísima; de tal suerte, que bastaria hacer una derivacion á corta distancia de la boca del túnel para obtener una caida de 10 metros. En esta hipótesis podrá disponerse de un

trabajo motor de $10^{\circ} \times 5.000^{\circ} = 50.000^{\circ}$ por segundo, y como se necesitan 214° para condensar 6 litros de aire, resulta que en cada segundo puede comprimirse

$$\frac{50.000}{214} \times 6 = 1.401,84 \text{ litros á 1 atmósfera,}$$

ó en 24 horas $1.401,84 \times 86.400 = 121.118.976$ litros

ó bien $121.118^{\circ}, 976$;

cantidad muy superior á los 86.000 metros cúbicos anteriormente fijados.

Respecto á la fuerza motriz de que se dispone en la estre-
midad del túnel correspondiente á Bardoneche, los resultados
no son tan satisfactorios, y aun hay alguna contradiccion sobre
este punto, tanto entre los diferentes escritos que hemos con-
sultado, como entre los datos que en ellos se consignan y los
que verbalmente se nos dieron.

Segun se dice en el documento parlamentario antes citado,
el Ministro de trabajos públicos dispuso que el Inspector señor
Bella reconociese los torrentes que corren en la proximidad de
Bardoneche, y que midiese el volúmen mínimo de agua que
conducian, así como la caída de que podria disponerse; resul-
tando del trabajo hecho por dicho Ingeniero con todo esmero y
prolijidad, que en la estacion mas desfavorable del año pueden
utilizarse 700 litros por segundo cayendo de una altura de 50
metros, lo que equivale á un trabajo motor de $700 \times 50 = 35.000$
kilográmetros por segundo, ó sean $3.024.000.000^{\circ}$ en 24 ho-
ras, con cuya fuerza pueden condensarse en el mismo tiempo

$$\frac{3.024.000.000}{214} \times 6 = 84.785 \text{ metros cúbicos, en la hipótesis de}$$

que se necesiten 214 kilográmetros por cada litro de aire á seis
atmósferas, ó que el coeficiente de efecto útil sea $0,53$; pero
como la comision supone que con las modificaciones que se in-
troduzcan en el compresor podrá obtenerse un coeficiente de
efecto útil igual á $0,6$, calcula en esta nueva hipótesis que po-
drán comprimirse en 24 horas hasta 98.064 metros cúbicos.

A decir verdad, el supuesto de que parte la comision es algo
aventurado, pues aunque sea probable, no es completamente se-

guro que se mejore la construcción de los compresores hasta el punto de subir el coeficiente de efecto útil de 0,53 á 0,60, y si esta hipótesis no se realizara, resultaría en el volumen de aire necesario un déficit, que sería cuando menos de 86.000 — 84.785 = 1.215 metros cúbicos en 24 horas.

Mr. Minotto aun obtiene un déficit mayor: y en efecto, partiendo de la hipótesis de que se necesitan 214^m para la compresión de cada 6 litros de aire, y 51,5^{km} para lanzarlos del depósito á la cañería, ó sean 265^{km} por cada litro de aire á 6 atmósferas que salga por el extremo del tubo de conducción, obtiene para el volumen máximo de aire que podrá llevarse en 24 horas al fondo del túnel,

$$\frac{3.024.000.000}{265} \times 6 = 68.468 \text{ m. c.}$$

resultando un déficit de 86.000 — 68.468 = 17.532 m. c. en 24 horas.

Finalmente, partiendo de los datos que nos dió el ayudante que por órden de Mr. Sommeilleur nos acompañaba al visitar las obras, se obtiene todavía otro resultado enteramente distinto de los anteriores.

La derivación del agua para los compresores se ha hecho del torrente Melezot, que lleva como mínimo 2 m. c. por segundo, ó sean 2000 litros; y por otra parte, aun cuando podría aprovecharse una caída de 40, como se ha situado el depósito de alimentación solo á 24^m sobre el punto mas bajo de los compresores, solo se obtiene un trabajo motor igual á

$$2.000 \times 24 = 48.000^{\text{km}} \text{ por segundo, ó sean } 4.147.200.000 \times k. \text{ m. en 24 horas.}$$

Con esta cantidad de fuerza motriz podrán acumularse en 24 horas y á la presión de una atmósfera $\frac{4.147.200.000}{214} \times 6 = 116.276 \text{ m. c.}$ de aire, cantidad muy superior á los 86.000 m. c. que se necesitan.

En resumen, partiendo de cuatro hipótesis distintas, hemos obtenido los cuatro resultados siguientes, que para mayor claridad presentaremos en forma de tabla:

SUPUESTOS.	Cantidad de aire que puede com- primirse en 24 horas. <i>Metros cúbicos.</i>	DÉFICIT.	SOBRANTE.
1.º 700 litros de agua : cai- da de 50 ^m ; coeficiente 0,53	84.765	1.215	"
2.º 700 litros de agua : caída de 50 ^m : coeficiente 0,60.	98.064	"	12.064
3.º 700 litros de agua ; caída de 50 ^m ; coeficiente 0,42.	68.468	17.532	"
4.º 2.000 litros de agua ; cai- da de 24 ^m ; coeficiente 0,53	116.276	"	50.276

Si, como creemos, son exactos los datos que corresponden á la última hipótesis, se cuenta con un trabajo motor suficiente para llenar el servicio de los perforadores y de la ventilacion, y aun en cualquiera de los demas casos, esceptuando el tercero, el déficit puede cubrirse fácilmente. Solo puede ocurrir alguna duda *sobre la exactitud de la cifra que nos ha servido de base para este cálculo*, y mas adelante examinaremos, para el completo esclarecimiento de este punto, las razones que aducen algunos ingenieros á fin de demostrar que los 86.000 metros cúbicos que fija la comision son insuficientes para el objeto á que se destinan. (Véase el Apéndice, núm. 8.)

Tubos de conduccion.

El problema de los motores y de la ventilacion se descompone en dos: primero, comprimir una masa suficiente de aire

hasta la presión de 6 atmósferas; segundo, llevar este volumen de aire al fondo del túnel. El primer punto queda completamente resuelto con el establecimiento de los compresores; pero este volumen de aire comprimido y acumulado en los depósitos ¿podrá utilizarse á tan gran distancia de dichos depósitos? Al recorrer tubos de 1.000, 2.000..... 7.000 metros de longitud ¿conservará la presión necesaria para producir el efecto que se desca? ¿cuáles serán las circunstancias de su movimiento y qué parte de su presión inicial perderá? ¿hasta qué punto podrá utilizarse esta presión? Todas estas cuestiones se presentan naturalmente, y á todas ellas era forzoso dar solución satisfactoria, si había de tenerse alguna confianza en el sistema de perforación propuesto por los ingenieros piamonteses: y tanto mas era esto necesario, cuanto que las objeciones y las dudas menudeaban sobre el nuevo invento. Se negaba la eficacia y la bondad del compresor hidráulico; se negaba que pudieran construirse calderas verdaderos depósitos de fuerza, pues se imaginaba que dejarían escapar gran cantidad de aire comprimido; se negaba aún que pudiera llevarse este á tan grandes distancias sin que recobrara su presión inicial de una atmósfera, y se concluía negando la ventaja de los aparatos de perforación y aun la posibilidad de aplicarlos á la apertura de subterráneos.

A tales objeciones, y tratándose de una obra tan importante, solo prácticamente podía darse contestación satisfactoria: las experiencias relativas á los compresores, de las cuales en las páginas precedentes hemos dado cuenta, prueban la bondad de estos mecanismos y la posibilidad de su aplicación al caso que nos ocupa; las mismas experiencias desvanecen las dudas que respecto al segundo punto pudieran abrigarse, y demuestran clara y evidentemente lo que, por otra parte, era fácil prever: en efecto, calderas de ocho metros cúbicos, llenas de aire á la presión de 6 atmósferas, solo pierden en 24 horas un cortísimo número de litros. Por último, á fin de resolver la cuestión relativa al movimiento del aire comprimido por las cañerías que han de conducirlo al fondo del túnel, se emprendieron nuevas experiencias en gran escala, que procuraremos describir brevemente.

Se adaptó al depósito de aire comprimido un tubo cuyo desarrollo total era de 399 metros, de los cuales 301 estaban formados por tubos de plomo, y 98 por tubos de caoutchouc revestidos esteriormente por otros de palastro.

El diámetro interior de la cañería era de 60 milímetros, y á fin de hacer las esperiencias en las circunstancias mas desfavorables, se establecieron 18 diafragmas que reducian el diámetro de la seccion á 53 milímetros, y se encorvó la cañería de modo que formase 76 espiras de 0,55 metros próximamente, de radio. Al extremo del tubo se colocaron sucesivamente varios opturadores, en los que de antemano se habian practicado orificios de diversas dimensiones, y de este modo se hizo variar, en la série de las esperiencias, dicho orificio de salida entre 18,13 y 492,84 milímetros cuadrados.

El aire del depósito se mantenía á una presion constante por una columna de agua de 51 metros de altura próximamente, y á fin de medir la pérdida total de presion, que esperimentase el aire al recorrer la cañería, se establecieron dos manómetros: uno en el origen del tubo, y otro inmediato al orificio de salida.

La figura 8 representa la disposicion que acabamos de indicar.

E depósito de aire comprimido á 6 atmósferas.

AB cañería de conduccion: se ha prescindido en el dibujo de las diferentes espiras en que está encorvada, así como de los 18 diafragmas.

O Opturador con el orificio de salida.

$\left. \begin{array}{l} a \ b \dots \\ d \ f \dots \end{array} \right\} \text{manómetros que miden la presion del aire en el depósito ó sea en el origen A de la cañería, y en el punto extremo B.}$

La disposicion de estos manómetros es bien sencilla: se componen de un vaso cerrado ab lleno de mercurio, y que comunica con la masa de aire cuya presion se desea conocer, por medio de un tubo $g \ g'$; otro tubo $c \ c$ abierto por la parte superior penetra en el mercurio, y sirve para medir la tension del aire en el depósito E.

El aire de dicho depósito pasa por el tubo $g \ g'$ al vaso ab ,

oprime al mercurio en él contenido, y le obliga á salir por el tubo *cc'*: la altura de dicha columna de mercurio aumentada con la correspondiente á la presion atmosférica, mide la tension del aire en el punto *g*: otro tanto pudiéramos decir del manómetro *df* colocado en el extremo del tubo.

Midiendo las dos alturas manométricas, y tomando la diferencia de ambos números, el resultado espresará, en altura de mercurio, la pérdida de presion del aire, correspondiente á los 399 metros del tubo: conociendo ademas la velocidad de la masa gaseosa en el origen de la cañería y el diámetro de esta, y variando el rádio del orificio de salida convenientemente, se puede conocer con gran exactitud, por una série de esperiencias, la marcha del aire en los tubos, y las diversas circunstancias de su movimiento.

Por interpolaciones sencillísimas, y suponiendo que á igualdad de velocidad inicial la pérdida de presion varía proporcionalmente á la longitud de la cañería y en razon inversa del diámetro, puede formarse una tabla de pérdidas de presion para tubos de 6.500 metros, con velocidades iniciales que varien entre un metro y seis metros, y diámetros que crezcan desde 0^m,10 á 0^m,55.

No teniendo á la vista la tabla formada por la comision, copiaremos otra que, tomando aquella por base, ha formado Mr. Minotto, y en la cual, ademas de la pérdida de presion en milímetros, consigna otros tres datos interesantes, á saber: la pérdida de presion medida en atmósferas, el coeficiente de pérdida de presion, y el volúmen de aire comprimido que saldrá por segundo en cada una de las diferentes hipótesis que comprende dicha tabla.

Emplearemos para mayor sencillez las notaciones siguientes:

- A pérdida de presion en milímetros de mercurio.
- B la misma pérdida espresada en atmósferas.
- C coeficiente de pérdida.
- D volúmen de aire que saldrá en un segundo del depósito:
dicho volúmen se espresa en litros.

TABLA PARA TUBOS DE 6.500 METROS DE LONGITUD.

VELOCIDADES por segundo en metros.		DIÁMETRO DE LOS TUBOS.					
		0m,10	0m,15	0m,20	0m,25	0m,30	0m,36
1	A	39	26	19,5	19,5	13	15
	B	0,0513	0,0342	0,02366	0,017	0,017	0,017
	C	0,01026	0,00684	0,003152	0,0034	0,0054	0,0054
	D	7,854	17,672	51,416	70,685	70,685	96,211
2	A	169	117	84,5	71,5	58,5	52
	B	0,022	0,154	0,1912	0,0944	0,077	0,648
	C	0,0044	0,0308	0,02224	0,0188	0,0144	0,01368
	D	19,708	35,544	62,832	98,174	141,570	162,422
3	A	405	273	201,5	162,5	156,5	117
	B	0,55	0,56	0,2651	0,2158	0,18	0,154
	C	0,106	0,072	0,05502	0,04276	0,036	0,0308
	D	25,562	53,015	94,248	147,261	212,035	288,635
4	A	702	468	351	286	234	201,5
	B	0,924	0,616	0,462	0,3765	0,508	0,265
	C	0,1848	0,01252	0,0924	0,07526	0,0616	0,0550
	D	31,416	70,686	125,665	196,548	282,74	334,844
5	A	1085,5	728	546	455,5	364	312
	B	1,43	0,958	0,7184	0,573	0,48	0,411
	C	0,286	0,1916	0,14568	0,1146	0,096	0,0822
	D	39,370	88,3575	151,708	245,435	355,425	481,055
6	A	1514,5	1014	760,5	611	507	435,5
	B	1,995	1,334	1,0066	0,804	0,667	0,573
	C	0,5986	0,2668	0,20132	0,1608	0,1334	0,1146
	D	47,124	106,029	188,494	294,322	424,119	577,266

Para que se comprenda cómo ha podido formarse la tabla precedente presentaremos un ejemplo:

Supongamos que se quiere calcular la pérdida de presión correspondiente a un tubo de 0m,1 de diámetro y 6.500 metros de longitud, en la hipótesis de que el aire salga del depósito con la velocidad de 5 metros.

Las experiencias hechas por la comision arrojan los siguientes datos:

VELOCIDAD.	DIAMETRO.	LONGITUD.	PERDIDA EN METROS.
5 ^m	0,06	400	0 ^m ,1113

Representando por x la pérdida de presion buscada, tendremos, —suponiendo como dijimos anteriormente, que á igualdad de velocidad variaba proporcionalmente á la longitud y en razon inversa del diámetro,—

$$x = 0,1113 \times \frac{6.300}{400} \times \frac{0,06}{0,10};$$

de donde $x = 1^m,085$,

que es en efecto el número de milímetros que aparece en la tabla anterior.

Por un procedimiento análogo se han hallado todos los números que corresponden á la letra A; en cuanto á los designados por la letra B, basta para obtenerlos pasar de alturas de mercurio en milímetros á presiones medidas en atmósferas, dividiendo á este fin las primeras por 760 milímetros.

Pasemos á los coeficientes de pérdida de presion, y consideremos para fijar las ideas la primera casilla de la tabla.

La presion en el depósito es de 6 atmósferas, ó sean 4560 milímetros de mercurio; la verdadera fuerza motriz será el exceso de esta presion sobre la presion atmosférica, que es la que hade vencer el aire tanto en el cilindro de los perforadores, como al pasar del tubo de ventilacion á la atmósfera. Tendremos, pues una fuerza efectiva de $4.560 - 760 = 3.800$ milímetros de mercurio; y como la pérdida es de 39 milímetros, el coeficiente de pérdida, ó sea la relacion entre la pérdida y la fuerza motriz, será

$$\frac{39}{3.800} = 0,01026,$$

que es el número dado en la tabla.

Por último, se obtiene la cuarta cifra, marcada con la letra D, multiplicando la velocidad en el origen por la seccion de la cañería. Sea por ejemplo la casilla correspondiente á la velocidad 3 y al diámetro 0^m,2; tendremos

$$D = \frac{1}{4} \pi 0,2^2 \times 3 = 0,094248 \text{ m. c.}$$

ó sean 94 litros, 248,

Veamos ahora si podrá aprovecharse el aire condensado por los compresores, en los trabajos de perforacion.

Supongamos que se establecieran dos tubos de conduccion de 0^m,15 de diámetro: en esta hipótesis, aun admitiendo el caso mas desfavorable, es decir, que la longitud de los tubos fuese la longitud extrema de 6.500 metros, el aire llegaria al fondo del túnel con una presion de

$$6 - 0,958 = 5,042 \text{ atmósferas;}$$

y suponiendo que la velocidad inicial fuese de 5 metros, podrian lanzar ambos tubos al extremo de la galería, en 24 horas, un volúmen de aire, á la presion de una atmósfera, igual á

$$2 \times 88 \text{ litros} \times 6 \times 86.400 = 91238,4 \text{ m. c.}$$

que es próximamente el volúmen que se necesita.

Así, pues, la comision dió por completamente resueltos los dos puntos relativos á la conduccion del aire al fondo del túnel.

Y en efecto, lo dicho prueba, 1.º: que escogiendo convenientemente el diámetro de la cañería, podrá llevarse en 24 horas el volúmen de aire necesario para los perforadores y la ventilacion: 2.º; que se podrá llevar así mismo dicha masa de aire de tal modo, que conserve presiones de 3, 4 y 5 atmósferas, que es la condicion que se exige para que pueda utilizarse como fuerza motriz. (Apendice núm. 8.)

En cuanto á la primera parte, ó sea, al volúmen de aire que llegue al fondo de la galería, aun debiera tenerse en cuenta la pérdida que podrá resultar de las huidas por las uniones de los tubos, pérdida que segun Mr. Minotto será de importancia, en razon á la extraordinaria longitud de la cañería, y á las muchas uniones que por lo tanto será preciso hacer en ella; en efecto, empleando tubos de 5 metros, resultan $\frac{6500}{5} = 1.300$ enchufes, y

por pequeño que sea el volúmen de aire que por cada uno de ellos se escape, es de temer que llegue el total á una cifra bastante elevada.

Sin embargo, como este número de uniones solo tendrá lugar cuando se abran los últimos kilómetros de la galería, como por otra parte las huidas de aire en los kilómetros inmediatos al extremo del túnel no serán completamente perdidas, pues servirán para la ventilacion, y por último como las uniones se harán con el mayor esmero y tomando todo género de precauciones, no es de creer que dicha pérdida tenga una gran importancia.

Por otra parte debe notarse, que si bien esta disminucion en la masa de aire conducida al túnel podrá influir en la presion con que el gas llegue al extremo de los tubos, este efecto está comprendido en las pérdidas de presion dadas por los manómetros, y que por lo tanto se ha tenido ya en cuenta al formar la tabla que anteriormente hemos presentado.

Estudiadas las diversas cuestiones teóricas relativas tanto á la compresion del aire, como á la conduccion de este al fondo del túnel, entraremos ahora en algunos otros puntos puramente de detalle, y daremos una descripcion general de todas las obras que se han construido ó estan construyendose, para comenzar, tan pronto como sea posible, el gran ensayo del nuevo sistema de perforacion.

Descripcion de los compresores y de las obras accesorias.

Aun cuando el sistema general de perforacion sea único, é idénticos en su esencia las obras y aparatos empleados en las dos bocas del túnel, sin embargo, en razon á las diferentes condiciones de ambas localidades, ha sido forzoso introducir tambien algunas variaciones de detalle en dichas obras, y por este motivo, examinaremos separadamente las relativas á los dos extremos de la galería.

LADO DE BARDONECHE.

Las obras que han de ejecutarse en este lado del túnel, aparte de algunas que no tienen bastante importancia para ser descritas especialmente, como son, cobertizos, casas para obreros, oficinas, solares para la elaboracion de ladrillos etc. etc., son las siguientes:

- 1.º Presa y toma de agua.
- 2.º Canal de conduccion y obras accesorias.
- 3.º Depósito en el extremo del canal y depósito regulador.
- 4.º Cañerías de conduccion.
- 5.º Casa-depósito.
- 6.º Sifones.
- 7.º Casa de los compresores hidráulicos, y compresores.
- 8.º Tubos de conduccion del aire comprimido.

Examinemos cada uno de estos puntos.

1.º *Presa y toma de agua.* La toma del agua que ha de emplearse como fuerza motriz en los compresores, se hace en el torrente de Mélézot, (véase el apéndice núm. 9), que lleva como caudal mínimo 2 metros cúbicos por segundo; á este fin se ha construido una presa de derivacion, cuya fábrica, si no recordamos mal, es de sillarejos y está coronada con una hilada de sillería. Poco ofrece esta obra digno de mencion especial: es dicha presa de poca altura, oblicua con respecto á la corriente, y de planta curvilínea; está formada aguas abajo por un talud bastante inclinado, que afecta tambien una ligera curvatura; termina por uno de sus costados en un muro vertical, y en el otro lado se han establecido la compuerta de toma y el canal de conduccion.

Se halla separada dicha compuerta, de la presa, por un muro vertical, formando escalera en su parte superior para subir hasta la altura de la coronacion.

La figura 9 indica la proyeccion horizontal de la presa y de la compuerta de toma de aguas:

A. . . Es el muro vertical de la derecha.

BC.. Representa la coronacion de la presa.

DD.. El talud curvo de aguas abajo.

FF.. La escalera del muro de la izquierda.

EE.. Las compuertas de toma.

HH.. El canal de derivacion.

L.. Un portillo de desagüe.

La figura 10 representa un corte por $a b$: la solera del canal de conduccion presenta á partir de las compuertas EE, una rápida pendiente $E a$ y una cavidad ó pozo $a b$, á fin de que se depositen en dicha cavidad las gravas y arenas que arrastra el agua del torrente: á partir del punto b continúa la solera $b c$ con una pendiente mas suave hasta el depósito inmediato á los compresores.

2.º *Canal de conduccion y obras accesorias.* La figura 11 representa el corte transversal del canal de conduccion, y en ella se ve que los dos costados son verticales y que el fondo tiene la forma de un arco de círculo.

Las dimensiones generales de dicha seccion son: 1^m,5 de altura por 1^m,5 de ancho, de suerte que próximamente tiene la figura de un cuadrado. La pendiente media es de uno por mil, y la longitud del canal 1.200 metros, segun las noticias que se nos dieron al visitar las obras, si bien hemos visto en algunas publicaciones otra cifra distinta de la anterior.

La fábrica del canal es de mamposteria ordinaria no de muy buena calidad ciertamente, pero que no es extraño no sea mejor, atendiendo á que no se halla en la localidad, segun se nos manifestó, buena piedra para mampostar.

Por esta misma causa, ha sido preciso sustituir á la silleria fábrica de ladrillo, en la mayor parte de las obras, exceptuando las bocas del túnel, zócalos del compresor, y algunos otros puntos, que se encuentren en circunstancias especiales ya por su importancia, ya por las presiones que resistan.

El fondo del canal se ha hecho de una especie de hormigon hidráulico, y en algunos sitios de sardinel de ladrillo.

Al construir el canal se dejó descubierto en casi toda su longitud, cubriendo tan solo aquellos trozos que atravesaban

corrientes de agua ó barrancos, pero en el invierno de 59 las nieves y las masas que se desprendian de la ladera en que estaba construido, lo interceptaron en algunos puntos, y lo rompieron, y arrastraron la fábrica, en otros, lo cual ha demostrado la absoluta necesidad de cubrirlo en toda su longitud: á este fin se han empleado (figura 11) grandes lajas *a b* de pizarra que van de uno á otro lado del canal.

Se encuentran á lo largo de este algunas obras de poca importancia, como son, alcantarillas, compuertas, canal de derivación para dar movimiento á una turbina, y otras varias en cuya descripción no nos detendremos por ser ajenas á nuestro objeto.

Las dimensiones del canal, y su pendiente, comprueban el dato relativo al caudal de agua disponible, que indicamos anteriormente, y que nos sirvió de base para el cálculo que hicimos en la página 48.

En efecto, la fórmula de Tadini para el movimiento uniforme en los canales, que es $U = 50 \sqrt{R p}$, en la cual *U* representa la velocidad de la corriente, *R* la relacion entre la seccion y el perímetro, y *P* la pendiente por metro, dá, suponiendo que la línea de agua pasa á 0^m,1 de la losa que cubre el canal, y sustituyendo por *R* y *P* sus valores,

$$R = \frac{1,5 \times 1,4}{2 \times 1,4 \times 1,5} = \frac{2,1}{4,5} = 0,488572, \text{ y } P = 0,001,$$

$$U = 50 \sqrt{0,000488572} = 1,105$$

Multiplicando la velocidad por la seccion 2^m,1, tendremos,

$$\text{Volúmen de agua} = 1,105 \times 2,1 = 2^{\text{mc}}, 5215.$$

3.º *Depósito en el extremo del canal y depósito regulador.* El canal de conduccion CC' (figura 12) desagua en un depósito descubierto D D D D, cuya forma es la que indica la figura, y que está dividido en dos depósitos parciales por el muro *m n*.

De cada una de las dos partes en que queda dividido el depósito principal, sale una cañería A B, A' B', y ambas terminan

:

en el depósito de alimentacion de los compresores, que describirémos en breve.

Al extremo del depósito DD que corresponde al lado del canal CC', hay una rejilla *a b*, la cual impide que penetren los cuerpos flotantes, así como las gravas y arenas que arrastra el agua; en las bocas de los dos tubos A B, A' B', hay otras dos rejillas A, A', de mallas mas estrechas que las de la rejilla *a b*, con un objeto análogo.

La altura de este depósito sobre el del compresor es de 16 metros, y de 40^m la diferencia de nivel entre este último y la válvula de desagüe de los compresores; por lo tanto solo se aprovechan para la compresion del aire $40 - 16 = 24$ metros, conforme á la hipótesis que hicimos en la página 48; pero es indudable que la caída disponible era de 40 metros, y que estos 16 metros que hay entre los dos depósitos son completamente perdidos para el efecto útil. Si la fuerza que así se obtiene basta para la perforacion, el sistema adoptado es sin duda alguna conveniente, por que ahorra el gasto de una gran longitud de tuberia; pero si al comenzar los trabajos se notase, como algunos Ingenieros suponen, que la cantidad de aire calculada (86,400 metros cúbicos en 24 horas) es insuficiente para la ventilacion, es claro que seria preciso aprovechar los 16 metros de altura que hay entre los dos depósitos, y que, debiendo colocarse el de los compresores donde ahora se halla el que acabamos de describir, se inutilizaria aquel depósito y el edificio en que está construido.

Por esta razon, y para precaver cualquiera eventualidad, creemos que hubiera podido adoptarse otra disposicion mas conveniente, á menos que alguna razon que no hayamos podido entrever en los brevísimos instantes que permanecemos en Bardoneche, haga preferible á todas las combinaciones que pueden presentarse, la que se ha escogido y realizado.

Sobre la misma ladera en que se ha construido el depósito descubierto DD, y 11 metros mas arriba, se ha construido otro pequeño depósito cubierto, representado en E, del cual parte un tubo que termina en las calderas de aire comprimido situa-

das á 51 metros bajo el nivel de dicha arqueta E, la que de este modo mantiene el aire á la presión constante de $\frac{51}{1050} + 1$ atmósfera = 6 atmósferas; así pues el arca de agua E hace el oficio de una válvula hidráulica de presión constante, y no es otra cosa que el depósito que designábamos con la letra F en la fig. 5.ª al ocuparnos de la teoría del compresor hidráulico.

Si no recordamos mal, el depósito E está también dividido en dos por una pieza intermedia, y parten de cada una de estas arquetas dos tubos, á fin de precaver las roturas ó descomposiciones de uno de ellos.

La pequeña casilla en que se ha construido el depósito E, está cerrada por una puerta, quedando de este modo completamente resguardado dicho depósito, y siendo por lo tanto inútil la vigilancia que hubiera sido indispensable ejercer si no se hubiera tomado esta precaución.

4.ª *Cañerías de conducción.* Del depósito DD parten, según hemos dicho, dos cañerías de palastro AB, A'B', que corriendo á lo largo de la ladera en una altura de 16 metros, terminan en un segundo depósito, que es el que hemos designado con el nombre de depósito de alimentación de los compresores. Según nos dijo el ayudante que nos acompañaba, ambas cañerías están en comunicación, y tienen desagüe en su punto mas bajo por medio de una llave convenientemente dispuesta. Van estas cañerías en el fondo de dos zanjias abiertas en el terreno, y tan luego como se han colocado y unido los diferentes trozos de que se componen los tubos, se vuelven á rellenar de tierra apisonándola inmediatamente.

Fácil es calcular el diámetro de ambas cañerías, observando que cada una de ellas ha de ser capaz de conducir al depósito del compresor, en caso de rotura ó descomposición de la segunda, los dos metros cúbicos por segundo que llegan constantemente al depósito superior, y que han de utilizarse como fuerza motriz para la compresión del aire.

La fórmula aproximada $\frac{4}{\pi} D^2 = 0,00055 \left[\frac{Q}{\sqrt{\pi} D^2} \right]^2$ en la cual deberémos sustituir,

H = 16 metros,

L = 24 metros,

Q = 2 metros cúbicos,

$\pi = 3.14159$,

da para la incógnita,

$D = 0.464$ metros, ó aproximadamente $D = 0.5$ metros.

Ignoramos cual será el diámetro que se haya dado á estas cañerías, pues, segun se nos dijo, estaban ya colocadas; pero por la dimension del orificio que en el fondo del depósito del compresor se habia practicado, creemos que no diferirá mucho de la cifra que acabamos de obtener

5.ª *Casa depósito.* Las dos cañerías AB, A'B', figura 12, que parten del depósito DD, terminan por su extremo inferior en otro segundo depósito, construido en un edificio que designaremos con el nombre de casa depósito, y que hemos representado, ya que no con sus verdaderas dimensiones, procurando al menos expresar fielmente la disposicion general de sus principales elementos, en la fig. 13.

Este edificio es de planta rectangular, y está dividido en dos cuerpos, en el sentido de la altura, por un suelo AA' convenientemente apoyado sobre la parte inferior de la construccion, y que constituye el fondo del depósito: el cuerpo bajo recibe luz por las arcadas F, y el cuerpo alto por varias ventanas V.

A todo lo largo del edificio corre en la parte superior un pequeño muro aa', que divide en dos la planta del piso alto: la parte mayor D forma el verdadero depósito, y el muro aa' hace oficio de vertedero: su objeto es mantener en dicho depósito D un nivel constante. El agua excedente cae en el pequeño espacio d, y corriendo sobre el suelo, sale del edificio por uno de los costados.

En la parte superior se establecerán puentes de servicio PP á fin de manejar desde ellos las compuertas de los compresores; pero esta parte de la obra no se hallaba aun terminada.

El agua del depósito de la fig. 12, llegará al depósito D, figura 13, por medio de los dos tubos AB, A'B', que se proyectan

en uno solo BB' en dicha fig. 13, y que tendrán además una llave de desagüe en su punto mas bajo.

Como la parte de la obra que estamos describiendo no se hallaba todavía terminada, y como no vimos tampoco ningún plano de la misma, ignoramos si la disposicion que representa la fig. 13 será precisamente la que se lleve á cabo, aunque así parece natural, segun las esplicaciones que se nos dieron.

En el muro VF del edificio, y al nivel del suelo AA', se han dejado diez huecos ó vanos cilíndricos S, de donde parten diez tubos SS' de otros tantos compresores, que van á terminar por su extremo inferior en otro edificio construido en la misma ladera. A fin de proporcionar una base suficientemente sólida á estos diez tubos, se han construido, normalmente al muro de fachada VF, diez muros MM en forma de nervios ó contrafuertes, sobre los cuales corre la tubería de los sifones.

La fig. 14 representa una vista de frente de la casa depósito por la fachada principal; pero debemos advertir, para que no se dé á estas representaciones mas valor ni mas importancia de la que en realidad tienen, que no recordamos si la distribucion de las arcadas, y de los nervios que sostienen los sifones, es la indicada en la figura, pues como tuvimos que fiar á la memoria la mayor parte de los detalles que vamos exponiendo, naturalmente nos fijábamos de preferencia en las partes principales, y, por decirlo así, características de la obra, sin cuidarnos de cuestiones secundarias, muy interesantes sin duda alguna cuando se trata de la ejecucion, pero indiferentes de todo punto para nuestro objeto.

MM, M'M', M''M'' representan los muros que sostienen los sifones.

SS, S'S', S''S'' dichos sifones.

El depósito AA' fig. 15 está dividido en dos por medio de un muro transversal, ó sea perpendicular al aa'; de este modo se forman dos depósitos parciales que pueden estar en comunicacion, ó formar depósitos distintos é independientes, segun se abra ó se cierre una compuerta colocada en dicho muro transversal.

De cada uno de estos compartimientos parten cinco sifones, de los diez, que, según digimos, forman el número total de compresores.

El objeto de duplicar todos los elementos principales del sistema, como son: depósito regulador, depósito del canal, tubos de conduccion y depósitos de alimentacion de los compresores, se comprende desde luego que es el de precaver la rotura ó descomposicion de cualquiera de estas partes de la obra; pues de no haber tomado esta precaucion, el menor accidente traería consigo la interrupcion de los trabajos del túnel, al paso que con la disposicion esplicada se tiene la seguridad de que nunca llegue este caso extremo.

La casa-depósito no se hallaba terminada, y aun muchos puntos de detalle no estaban todavía resueltos; por este motivo no podemos entrar en una descripcion minuciosa de las diferentes partes que acabamos de describir; sin embargo, dirémos algo del sistema adoptado para dar entrada al agua en los sifones.

Sea ABCD la boca de uno de los sifones, que supondrémos cerrada por una especie de compuerta ó placa circular AB giratoria al rededor de un eje A. Como la profundidad del depósito es bastante grande, y grande es tambien el diámetro de dicha placa AB, para elevarla y dar entrada al agua en el sifon, seria preciso vencer una gran resistencia; se ha procurado evitar este inconveniente, practicando en el centro de la placa AB un pequeño orificio *ab*, cerrado por una pequeña pieza giratoria al rededor de *a*. Para elevar la compuerta AB, se principia por elevar desde el puente de servicio la placa *ab*, para lo cual basta un pequeño esfuerzo; el agua entra en el tubo, y cuando este se llena y la presion interior se equilibra con la exterior, puede facilmente abrirse la compuerta del tubo ABCD. Este sistema que teóricamente es excelente, y que en muchos casos al parecer análogos á este, se emplea con ventaja, tiene á nuestro modo de ver, un inconveniente en el caso que nos ocupa; en efecto, como el orificio *ab* es pequeño y muy grande la capacidad del sifon, este tardará en llenarse muchas horas, y será

imposible abrir la boca de cada uno de ellos con la rapidez que sería de desear.

6.º *Sifones.* No presentan ninguna particularidad digna de notarse.

Son de fundición todos ellos y se enchufan por los procedimientos ordinarios; se apoyan sobre los muros en talud, de que hemos hecho mencion anteriormente, y á fin de evitar el deslizamiento, va de trecho en trecho un tubo con pequeños refuerzos A, B, segun indica la fig. 16, que se apoyan sobre la mampostería del contrafuerte. La longitud de cada uno de ellos es próximamente 40 metros: en cuanto á su diámetro ya indicaremos el método que puede seguirse para calcularlo. (Vease la nota 4.ª y el Apéndice, núm. 10.)

Los diez sifones penetran al través de uno de los muros de la casa de compresores, y cada uno de ellos no es otra cosa que el tubo ABCD de la figura 5.º

7.º *Casa de los compresores.*—*Compresores.* El edificio en que se han establecido los compresores es de planta rectangular; los lados mayores de este rectángulo son paralelos á la fachada principal de la casa-depósito; la parte posterior es un lienzo corrido, en el que terminan los muros que sostienen los sifones, y en él se han dejado, en puntos convenientemente elegidos, diez vacíos ó huecos por donde penetran dichos sifones en el edificio. La fachada paralela á esta constituye el frente principal, y en ella se han practicado las puertas necesarias para el servicio, así como las ventanas que se han conceptuado indispensables para la ventilacion y para dar luz al interior.

A lo largo del gran rectángulo que forma la planta, se han establecido las calderas de aire comprimido, y los diez compresores, iguales todos entre sí, que las alimentan constantemente.

Solo describirémos uno de estos compresores, y lo que de él digamos queda dicho de los demas. Considerarémos en cada uno los siguientes elementos:

1.º El sifon.

2.º Las cuatro válvulas siguientes: de admision de agua;

de desagüe; de admision de aire atmosférico; y por último, la válvula de aire comprimido.

3.º El mecanismo para poner en movimiento dichas válvulas.

1.º *Sifon.* Segun hemos dicho, cada uno de los tubos de los sifones penetra en el interior del edificio por un vacío ó hueco cilindrico T, y sigue la pendiente general de los muros de sostenimiento hasta un cierto punto A: á partir de este punto se encorva, y continúa verticalmente en una cierta longitud A T'; en T' se encorva de nuevo, y pasando bajo los maticos de fábrica MM', continúa horizontal hasta el punto T'', en que se eleva verticalmente hácia la válvula C de la caldera.

Toda la parte AT' T'' T''' del sifon equivale á la porcion BCD de la fig. 5.ª

2.º *Válvulas del sifon.* La válvula de admision de agua está situada en A, (fig. 17) ó sea proxima á la union de la parte inclinada con la parte vertical del tubo.

No pudimos ver el sistema de dicha válvula por estar ya montado el compresor, y si bien se nos enseñaron algunos planos, se nos indicó al propio tiempo, que se habian introducido varias modificaciones en los detalles, al ejecutar la obra; sin embargo, no creemos inútil reproducir la disposicion que en un principio se escogió, y que es la que indica la fig. 18. El tubo A se divide, por decirlo así, en un conducto anular que termina en otro tubo C: la pieza E desliza en el interior del espacio D, y sube ó baja segun el movimiento que la trasmite la varilla *a b*: cuando dicha pieza E ocupa la posicion E', que está marcada de puntos en la figura, la comunicacion entre la parte inferior y superior del tubo queda interrumpida, y el agua no puede pasar; cuando por el contrario la válvula E desciende, el agua cae por la rama A, y siguiendo el camino que indican las flechas *ffff* pasa al tubo C: entonces comienza una de las oscilaciones de la columna líquida.

La forma del tubo en A (fig. 17) no se presta á la disposicion anterior, y por este motivo suponemos, que no es el sistema adoptado el que acabamos de explicar: por otra parte, no es

probable que se haya empleado una válvula cónica, por el estrechamiento que necesariamente produciría, y como tampoco aparece en el tubo (ó por lo menos no lo recordamos) un ensanche ó caja que indique la adopción de una válvula de corona, todas estas circunstancias, unidas á la colocación de dicha válvula A en la unión de la parte inclinada y de la parte vertical, nos hace sospechar si se habrá adoptado una disposición que naturalmente ocurre para este caso, aunque no la creemos ventajosa.

Por esta razón no nos detendremos á explicarla, limitándonos tan solo á indicar, que tal vez esté formada dicha válvula, por la prolongación de la parte vertical del conducto hasta su encuentro con la parte curva, que une la rama vertical del sifón con la inclinada.

La válvula de desagüe B, (fig. 17) está colocada en la parte horizontal del sifón, y por lo tanto en el punto mas bajo del compresor hidráulico.

Por hallarse montado todo el aparato, no pudimos estudiar, según hemos dicho anteriormente, el mecanismo interior de dicha válvula; pero en el plano que se nos presentó, pudimos ver la disposición siguiente, que es probable sea análoga á la que se haya empleado.

La fig. 20 indica un corte de dicha válvula: la parte cilíndrica A cierra los orificios OO, cuando ocupa la posición que indica la figura, y por el contrario, cuando se eleva, por medio de la varilla *b*, deja descubiertos dichos orificios, y el agua sale del compresor por ellos.

Por último, en cuanto á las válvulas C y D (fig. 17) nada presentan digno de mención especial. (Apéndice núm. 11).

3.º *Mecanismo para poner en movimiento las válvulas.*— La válvula de admisión de agua A (fig. 17) se pone en movimiento por medio de la varilla *g*; de la palanca *ff'* giratoria al rededor del eje *c'*, el cual se apoya sobre el brazo *cc'*; y de la varilla *aa'* que penetra en el tubo A, y que, por el lado opuesto, se mueve en una especie de anillo *b'* sostenido por un brazo de hierro *bb'*.

La válvula de desagüe B se pone en movimiento, análogamente á la anterior, por dos varillas g' , $k'k$, y por una palanca $k'g'$ giratoria al rededor del punto l , el cual se apoya sobre una especie de armadura de hierro L.

Así pues, las varillas g , g' , son las que transmiten el movimiento á dichas válvulas A, B.

En cuanto á la válvula de la caldera C, se mueve, ya por el esfuerzo del aire comprimido de dicho depósito, ya por la presión del aire encerrado en el tubo $T''T'''$.

Finalmente, la válvula C se abre ó se cierra por sí sola, según domina la presión atmosférica ó la presión interior.

Veamos ahora cómo se ponen en movimiento las dos varillas g , g' , de manera, que abran ó cierren las válvulas A, B en los instantes oportunos.

Cada una de dichas varillas, (por ejemplo la varilla g) está unida por su parte inferior á una pieza GG (figs. 17 y 21), la cual se mueve deslizando en dos ranuras ab , $a'b'$ (fig. 21) practicadas en otra pieza H, sólidamente unida á la mampostería M del zócalo (figs. 17 y 21).

Dos sectores SS, $S'S'$, montados sobre un eje horizontal O, ponen en movimiento las dos piezas GG, $G'G'$, y por lo tanto las válvulas A, B. (fig. 17.)

Por medio de un tubo que parte de la caldera ó depósito VV' , se hace pasar una pequeña cantidad de aire al cilindro de una máquina de aire comprimido, análoga á las máquinas de vapor, la cual pone en movimiento un eje horizontal O, el que á su vez, por dos ruedas xx' , XX' , transmite dicho movimiento al eje OO de los sectores SS, $S'S'$.

Fácil es ahora explicar el juego del compresor, que es en realidad idéntico al que expusimos en la pág. 29.

La máquina de aire comprimido, cuyo movimiento se arregla al tiempo de cada oscilación del compresor, hace girar al eje o y á la rueda xx' : esta rueda transmite su acción á la XX' y á los sectores SS, $S'S'$. Actuando el sector SS sobre el estribo GG cierra la válvula A, la cual queda sostenida en esta posición por una especie de engalque (que no está representado en

la fig.) cuando cesa de actuar dicho sector S S sobre el estribo G G. Continuando el giro del eje o, el sector S' S' oprime al estribo G' G', levanta la válvula B, y abre los orificios de salida: el agua de la rama T'' T''' sale por ellos, y el aire atmosférico penetrando por D, llena todo el espacio de dicha rama vertical. En el instante en que cesa de actuar el sector S' S' sobre el estribo G' G' cae la válvula B bajo la acción de su peso, cierra los orificios de salida, y desengalga la varilla a a': la válvula A se abre, el agua cae por la rama TT', comprime al aire de la rama T'' T''', y lo arroja á la caldera VV: de este modo se repiten periódicamente, la compresión del aire, y las oscilaciones de la columna líquida.

Descritos ya los diferentes elementos de los compresores, examinaremos ligeramente el conjunto de todos ellos y sus posiciones relativas.

La fig. 22 indica esta disposición general.

A Compresores hidráulicos y edificios en que se han montado.

ab Cañerías de los compresores, ó sifones.

B Casa-depósito.

cd Tubos de conducción desde el depósito superior á la casa-depósito.

C Depósito descubierto situado en el extremo del canal.

D Depósito regulador.

fg Tubo de presión.

La diferencia de nivel entre la arqueta D y el primer depósito es próximamente de 11 metros.

La diferencia de nivel entre los depósitos C y B es de 16 metros.

La altura del depósito B sobre el punto mas bajo de los compresores es de 24 metros.

La carga sobre las calderas, ó la distancia del nivel del arca de agua D al punto f, es de 51 metros.

Con solo examinar ligeramente la figura, se comprenderá ahora, por qué decíamos en la pág. 48, que la altura de 16 metros entre los dos depósitos C y B era completamente perdida para el efecto útil. (Apéndice núm. 11).

8.° *Tubos de conduccion del aire comprimido.* De las noticias que se nos dieron resulta, que se han construido dichos tubos, de caoutchouc revestidos por otros de palastro, sistema excelente, y que reúne todas las condiciones de solidez, flexibilidad é impermeabilidad. Desde las calderas de aire comprimido hasta la boca del túnel, es decir, en una extension de mas de 500 metros, se han construido altos pilares de fábrica, y sobre ellos se apoya la tubería: desde la boca del túnel hasta el fondo, corren paralelamente á las paredes, descansando sobre fuertes piezas de hierro empotradas sólidamente en la fábrica. Se han dispuesto dos tubos, á fin de prevenir toda interrupcion en el trabajo. El diámetro interior de cada uno será próximamente de 0^m 2, segun se nos dijo.

En cuanto al sistema que se emplee, ya para alimentar los perforadores, ya para lanzar aire al fondo del túnel, como al visitar las obras no funcionaban todavía los diferentes aparatos que vamos describiendo, ni se habia terminado tampoco la colocacion de los tubos en el interior del túnel, ignoramos cuál sea el que definitivamente se elija.

ESTADO DE LAS OBRAS EN AGOSTO DE 1860.

La mayor parte de las obras que hemos descrito anteriormente, no se habian terminado aún á nuestra llegada á Bardonèche; si bien algunas de ellas estaban bastante adelantadas, y se tenian fundadas esperanzas de que para fines de setiembre, ó mediados de octubre, podria hacerse un ensayo en grande escala de los compresores hidráulicos, y de los demas aparatos empleados en la perforacion.

Daremos, pues, una ligera idea del estado de los trabajos en el mes de agosto, que fué cuando recorrimos las obras y visitamos el túnel; refiriéndonos para mayor sencillez á la figura 22.

Se habia terminado la presa de toma de aguas y el canal de conduccion.

Se estaban reparando los trozos del canal que habian sido

destruidos en el invierno anterior, y se trabajaba para cubrirlo en toda su longitud.

El depósito C, y el pequeño depósito regulador D, se hallaban completamente terminados.

Estaban colocados ya los tubos *cd*, y según creemos todo el tubo de presión *fg*.

Se trabajaba activamente para terminar la casa-depósito, que se hallaba bastante adelantada, aun cuando faltaban en ella algunas obras importantes.

Se había terminado la construcción de cinco de los muros que sostienen los sifones, y se había colocado sobre ellos la tubería correspondiente, pero restaban cinco por construir, y no se había acopiado aun al pie de la obra toda la fundición necesaria, la cual llegaba lentamente, por lo escabroso del terreno y la larga distancia de que venía.

La casa B de los compresores se hallaba casi concluida, y se trabajaba para montar algunos de ellos.

Por último, estaba casi completamente colocado sobre sus pilares, y sobre los apoyos correspondientes en el interior del túnel, uno de los tubos de aire comprimido.

Además de las obras indicadas, se han ejecutado otras en cuya descripción no entraremos, por no presentar ninguna circunstancia notable.

Hé aquí una sucinta relación de dichas obras.

1.º Camino de servicio, de 2 kilómetros próximamente de longitud, para poner en comunicación el extremo de la galería con el camino carretero de Oulx á Bardoneche.

2.º Rectificación del torrente de Rochemolles.

3.º Una casa próxima á la boca del túnel para los guardas y otros empleados de las obras.

4.º Un observatorio para el trazado del túnel.

5.º Un almacén para las maderas, hierros y varios útiles.

6.º Un edificio destinado á la confección de cales.

7.º Cobertizo para preparar las vigas armadas que se destinan á apuntalamientos.

8.º Otro cobertizo análogo al anterior para guardar las

máquinas de perforacion y los carros de los perforadores.

9.° Talleres de reparacion con la maquinaria y útiles necesarios para dicho objeto.

10.° Una gran casa habitacion para los obreros.

11.° Habitaciones para los jefes de servicio y para el personal de la direccion y vigilancia de los trabajos.

12.° Solares, cobertizos etc, para la fabricacion de ladrillos.

13.° Se han perforado, por los procedimientos ordinarios, en treinta meses de trabajo, mil metros de túnel entre las dos bocas.

LADO DE MODANE.

En el extremo del túnel correspondiente á Modane, las obras son análogas á las construidas en el lado de Bardoneche, si bien no se hallan tan adelantadas como en este último punto.

Las diferencias que entre ambas localidades existen, han hecho sin embargo necesarias algunas modificaciones en los detalles, ya que no en los principios generales del sistema. Así por ejemplo, se eleva por medio de bombas el agua que ha de alimentar los compresores, hasta un depósito superior sostenido por columnas de hierro, y el tubo de cada uno de dichos compresores no tiene (segun las noticias que se nos dieron) la posicion inclinada que presenta en Bardoneche, es por el contrario vertical, y constituye una de las columnas que sostienen el depósito.

Como la entrada del túnel es en curva, y esta es bastante pronunciada, se ha practicado una galeria en prolongancia del tramo recto que ha de unirse á la parte curvilínea: la longitud de esta galeria auxiliar será de unos 500 metros próximamente. (Véase el Apéndice núm. 2.)

Delante de dicha galeria se ha establecido una especie de observatorio para que sirva de comprobacion á las alineaciones.

En la parte inferior del valle se están construyendo los talleres, oficinas, habitaciones y demás edificios necesarios para el servicio de las obras.

Finalmente, la circunstancia de estar la boca del túnel á bastante altura sobre el valle, ha hecho necesario el establecimiento de un plano inclinado de servicio. (Véase el Apéndice núm. 13.)

Lo dicho creemos que dá una idea bastante exacta del sistema empleado para la acumulacion de la fuerza motriz y para la ventilacion del túnel; y ya que no de los últimos detalles de la obra,—porque no es posible en una rápida visita, y sin tener á la vista los planos, las memorias, ni los demás documentos del proyecto, hacer una descripcion completa de ella, descripcion que solo los directores de los trabajos pueden, y casi diriamos, tienen el derecho esclusivo de llevar á cabo,—al menos lo dicho, repetimos, hará que se comprenda cuales son los principios fundamentales, y el espíritu general, que presiden á la realizacion de tan importante empresa.

Pasemos ya al segundo de los puntos que al principio de la memoria indicamos. (Apéndice núm. 13.)

Nº 2.º—Primeros principios de la perforacion.—El terreno que el túnel ha de atravesar, está principalmente formado de rocas duras y resistentes, que solo pueden ser atacadas con la pólvora, y este es en efecto el único medio aceptable para la perforacion de la galeria, toda vez que aun el ingenioso sistema de Mr. Muns, en que se sustituye á los barrenos un mecanismo especial, actuando por percusion, ha desechado y puesto al de los Ingenieros Grubbs, Catton y Sommeiller. (Véase el Apéndice núm. 14.) Mas la perforacion por medio de la pólvora es lenta y pesada en extremo, pues ya vimos que solo 0",5 por cada boca del túnel, podria avanzarse en 24 horas, si se emplean únicamente los procedimientos ordinarios; las diversas operaciones que la perforacion de un subterráneo por medio de

APARATOS PARA LA PERFORACION.

Hasta aquí nos hemos ocupado esclusivamente del motor y del receptor hidráulico; y hemos dicho que se habia escogido el agua, por decirlo así, como fuerza motriz primitiva, y el aire comprimido como motor inmediato: debemos ahora entrar en el estudio detallado del operador, y dividiremos esta parte de nuestro trabajo, para mayor claridad, en dos capítulos distintos, á saber: 1.º perforadores ó barrenas: 2.º carros en que van montadas dichas barrenas y que, avanzando sobre el carril central del túnel, aproximan los útiles á la roca.

Perforadores.

Digimos al principio de esta memoria, que el terreno que el túnel ha de atravesar, estará probablemente formado de rocas duras y resistentes, que solo pueden ser atacadas con la pólvora; y este es en efecto el único medio aceptable para la perforacion de la galeria, toda vez, que aun el ingenioso sistema de Mr. Mauss, en que se sustituia á los barrenos un mecanismo especial, actuando por percusion, fué desechado y' pospuesto al de los Ingenieros Grandis, Grattoni y Sommeilleur. (Véase el Apéndice núm. 14.) Mas la perforacion por medio de la pólvora es lenta y pesada en extremo, pues ya vimos que solo 0^m,5, por cada boca del túnel, podria avanzarse en 24 horas, si se empleaban únicamente los procedimientos ordinarios; las diversas operaciones que la perforacion de un subterráneo por medio de

la pólvora supone, como son la apertura del barreno, la carga del mismo, la atacadura, la purificación de la atmósfera, la extracción de los productos del barreno, absorben mucho tiempo y retardarían 36 ó 38 años la terminación del ferro-carril Victor Manuel, si no se hubiera echado mano de otro sistema mas enérgico.

El perforador de los Ingenieros piamonteses, cuyo objeto es abreviar el tiempo necesario para abrir los agujeros de los barrenos, se funda en varios principios que son generales, y que han de servir de base lo mismo para este, que para otro cualquiera que se invente.

Indicarémos ante todo las bases fundamentales del nuevo aparato.

1.^{er} principio. Imaginemos un cilindro A B (fig. 23.) en el cual se mueva un émbolo C, y supongamos, que al extremo de la varilla de dicho émbolo va unida una barrena D. Si establecemos este sistema á una distancia conveniente de la roca R, y se introduce en el cilindro en periodos iguales, vapor ó aire comprimido, por medio de válvulas ó llaves dispuestas al efecto, el émbolo, y por lo tanto la barrena, tomará un movimiento alternativo, y batirá la roca constantemente, produciendo en ella, en un tiempo dado, cierto desgaste $a b$ dependiente de la tension del gas, de la carrera del émbolo, y de la dureza de la roca.

2.^o principio. En el caso presente es claro que no puede utilizarse el vapor, en atencion á las varias razones que ya al principio de esta memoria expusimos, y *que por lo tanto, el gas que actúe sobre el émbolo, y que produzca el trabajo útil, no puede ser otro que el aire comprimido.*

3.^{er} principio. Es evidente que si el cilindro permaneciese fijo mientras el barreno golpea contra la roca, llegaria un instante en que el extremo del útil habria penetrado tanto, que el émbolo chocaria con la cara B del cilindro, y que, á partir de este instante, el trabajo del motor seria de todo punto inútil. Es pues indispensable, que el cilindro avance á medida que el barreno penetra en la roca, y por consiguiente podrémos esta-

blecer este nuevo principio: «el cilindro debe tener un movimiento longitudinal en el mismo sentido que la barrena.»

4.º principio. Si la barrena trabajase constantemente en la misma posición, su boquilla heriría siempre los mismos puntos de la roca: por ejemplo, si esta boquilla terminase en un filo, este chocaría constantemente contra la faja $a b$, (fig. 24) sin atacar los demás puntos del círculo $a a' a'' b b' b''$ sección del barreno; y es por lo tanto indispensable, para evitar este inconveniente, que además del movimiento alternativo, tenga la barrena un movimiento de rotación al rededor de su eje.

De este modo, si en los dos ó tres primeros choques ha herido el útil la pequeña faja $a b$ (fig. 25.), en los siguientes desgastará las fajas $a' b'$, $a'' b''$, y de este modo, por la combinación del movimiento alternativo rectilíneo con el movimiento circular, se conseguirá abrir el barreno uniformemente en toda su extensión.

5.º principio. No basta con los principios anteriores para que el aparato funcione con regularidad y precisión, y nunca podrá conseguirse este fin, si no se tiene en cuenta otra circunstancia del trabajo de perforación, sumamente importante.

Supongamos, en efecto, que la barrena tiene los movimientos antes indicados: es decir, un movimiento alternativo rectilíneo y otro continuo circular: supongamos además que el cilindro avanza con un movimiento uniforme, y veamos cuáles son las condiciones y circunstancias del trabajo.

Admitiremos, como primera hipótesis, que la dureza de la roca que se quiere atacar es uniforme en toda su profundidad, y que por lo tanto, en cualquier periodo del trabajo, es necesario el mismo número a de golpes para avanzar una longitud determinada s . Es claro, que entre todas las distancias λ que puede situarse el cilindro, con respecto al punto de ataque p , figura 26, habrá una distancia determinada por la experiencia, que será la mas ventajosa para aprovechar la fuerza elástica del motor: á fin de abreviar el razonamiento la representaremos constantemente por D .

En efecto, es por una parte conveniente que se aproveche

una gran fraccion de la longitud AB del cilindro (fig. 26), á fin de que se acumule la mayor cantidad de fuerza viva posible en la masa de la barrena; mas al propio tiempo debe evitarse que el émbolo *cd* choque con el fondo del cilindro, en cuyo caso el efecto sobre la roca sería casi nulo, y á mas de esto se destruiria bien pronto el mecanismo.

Resulta de lo dicho que, á fin de que el trabajo se haga en las condiciones mas ventajosas, la distancia entre la cara BC del cilindro y la cara de ataque *p*, debe ser constante é igual á D en todos los momentos de la operacion.

Si como suponemos la dureza de la roca es la misma á todas las profundidades, nada mas fácil que realizar este principio; basta para ello que el cilindro tenga un movimiento uniforme, tal, que avance una longitud ε por cada *a* golpes de la barrena, porque, como para este número de golpes el fondo de ataque penetra una longitud $m'n' = \varepsilon$ (fig. 26) en la roca, es claro que la distancia entre B'C' y *p'* será igual á la que mediaba entre BC y *p*, y por lo tanto á la longitud D. Resulta, pues, que así en la primera, como en la segunda posicion, la distancia del cilindro á la superficie de ataque es la misma.

Si por el contrario la dureza de la roca es variable con la profundidad, será imposible que la condicion anterior quede satisfecha marchando el cilindro con movimiento uniforme: y en efecto, si el movimiento del cilindro se ha fijado para una roca, cuya dureza sea tal que en *a* golpes del útil avance el fondo del barreno ε —en cuyo caso en el mismo espacio de tiempo avanzará ε el cilindro— cuando el útil llegue á otro punto de la roca para el cual esta longitud sea ε' , el cilindro continuará avanzando ε por *a* golpes, y la distancia D se convertirá en $D + \varepsilon' - \varepsilon$. Si $\varepsilon' > \varepsilon$, es decir, si la segunda roca es mas blanda que la primera, $D + \varepsilon' - \varepsilon > D$; y si por el contrario $\varepsilon' < \varepsilon$, en cuyo caso por el mismo número de golpes *a* avanza el barreno menos que en la primera hipótesis, ó lo que es igual, si la roca es mas dura, tendremos $D + \varepsilon' - \varepsilon < D$.

En el primer caso el émbolo golpeará contra el fondo BC del cilindro (segun indica la fig. 27), pues mientras dicho cilindro

recorre una longitud $m n = \delta$, la barrena hubiera podido penetrar en la roca la longitud $m' n' = \delta' > \delta$.

En el segundo caso, la escursion del émbolo es cada vez menor, y menor el efecto del motor, y aun podria llegar á ser dicha escursion nula, y nulo el efecto útil, si el fondo AD del cilindro llegase hasta el émbolo $c' d'$, (fig. 28), como sucederia si $m n = \delta$ fuese mucho mayor que $m' n' = \delta'$.

De aquí se deduce este importantísimo principio: el movimiento del cilindro no debe ser uniforme; debe por el contrario variar, para el mismo número de golpes de la barrena, con la dureza de la roca, ó sea con el camino descrito por el extremo del útil. Así es, que el aparato habria realizado la perfeccion ideal, al menos respecto á este punto, si el cilindro marchase con un movimiento variado, idéntico al movimiento del fondo del barreno; mas ya que esta condicion no pueda realizarse, convendrá al menos establecer ciertas relaciones entre estos dos movimientos, de suerte que si se retarda el movimiento del útil, se retarde el del cilindro, y que si se acelera el primero, se acelere el segundo tambien.

Resumiendo lo dicho podremos establecer esta regla general: *«el movimiento del cilindro debe subordinarse al movimiento de avance de la barrena.»*

6.º principio. Como han de ser varios los perforadores que trabajen contra el fondo de la galería de ataque, y como pudiera suceder que el útil de uno de ellos se desgastase ó rompiese, será preciso *que haya completa independencia entre los diferentes aparatos de perforacion*; de tal modo, que pueda detenerse el movimiento de uno de ellos y renovar dicho útil, sin que se interrumpa por esta operacion el trabajo de los demas.

7.º principio. Deberá procurarse *que el mecanismo sea sencillo, y que ocupe poco volumen; y finalmente, deben evitarse, ó reducirse en lo posible, los choques de unas piezas con otras.*

De lo dicho se deduce que todo aparato de perforacion, del género que nos ocupa, debe llenar, ademas de las condiciones

generales de sencillez, etc., las siguientes condiciones especiales.

1.ª Que el útil esté sólidamente sujeto al émbolo de un pequeño cilindro de aire comprimido.

2.ª Que la barrena tenga un movimiento continuo de rotacion al rededor de su eje.

3.ª Que se comunique al cilindro un movimiento longitudinal de avance, convenientemente regularizado.

4.ª Que la distancia D sea próximamente constante, ó bien que oscile su diferencia entre límites pequeños; lo cual se conseguirá, estableciendo una relacion conveniente entre el movimiento del útil y el del cilindro.

5.ª Que se eviten los choques.

6.ª Que cada perforador tenga un movimiento de retroceso para poder renovar el útil, y que dicho movimiento sea independiente del trabajo de los demas perforadores.

Veamos ahora, cómo el perforador inventado por Mr. Sommeilleur realiza las condiciones anteriores: pero antes de entrar en la descripcion detallada de dicho aparato, debemos hacer algunas observaciones importantes. De todas las obras y mecanismos que pudimos visitar durante nuestra estancia en Bardoneche, que fué de 18 horas escasas, los aparatos de perforacion fueron los que mas rápidamente examinamos, porque, á lo que creimos notar, eran los que con mas recelo se nos enseñaban por los agentes subalternos de la obra, y debimos respetar esta reserva, aun cuando no estuviera bajo ningun punto de vista justificada: solo pudimos estudiar el perforador durante una media hora escasa, y cuando indicamos intencion de sacar un dibujo del aparato, el ayudante que nos acompañaba nos manifestó, «que no se creia autorizado para acceder á nuestro deseo, toda vez que se trataba de un mecanismo para el cual se habia sacado privilegio de invencion.»

Esta circunstancia, unida á la de estar ya montado el aparato, y á la de no tener á la vista ningun plano ó dibujo, nos impidió estudiar su parte interior, las uniones de sus diversas piezas, algunas trasmisiones de movimiento, y otros varios deta-

lles interesantes : sin embargo , del estudio de las piezas exteriores se deduce hasta cierto punto la disposicion interior del mecanismo, y esto es lo que en efecto hemos hecho , reconstruyendo por lo que hemos visto, lo que no hemos podido ver. Así, pues, las piezas principales del perforador, sus movimientos y su modo de funcionar, nos son perfectamente conocidos , y podrémos describirlos con la mayor precision ; pero en cuanto al mecanismo interior, lo que digamos será, no precisamente lo que el perforador de Mr. Sommeilleur *es*, sino lo que pudiera *ser*, y lo que es probable que *sea*.

Por lo demas, es claro que la parte mas interesante del aparato es el conjunto de sus piezas exteriores y de sus movimientos, y que en cuanto á los detalles de union, enlace de unas piezas con otras, etc. pueden disponerse estas de muchas maneras, y medios dá la mecánica de resolver cuantos problemas de este género ocurran , así como hay reglas para escoger las soluciones mas ventajosas entre las varias que pueden presentarse.

Finalmente, creemos que dando cuenta á la Direccion general de Obras públicas del resultado de nuestros estudios sobre esta parte del sistema de perforacion, no faltamos á la confianza que hayan podido tener en nosotros los ingenieros directores de las obras, al permitirnos visitarlas; pues clara y terminantemente les digimos, que si deseaban guardar secreto en cuanto á los perforadores, renunciaríamos á examinarlos, y las esplicaciones que se nos dieron fueron bastantes á desvanecer nuestros escrúpulos (1).

(1) Si cuando presentamos esta memoria, (25 de febrero de 1861) hubiéramos podido tener algun escrúpulo sobre el derecho que nos asistia para dar á luz la descripcion de los perforadores, de entonces acá hemos tenido tiempo de sobra para tranquilizarnos.

Hoy, que los *Anales de puentes y calzadas*, la *publicacion industrial de Armengaud*, el *portefeuille economique de Oppermann*, una obra especial de Mr. A. Devillez, muchas relaciones presentadas á diferentes sociedades científicas, diversos periódicos de Francia, Inglaterra, Alemania é Italia, y hasta *manuals* y *anuarios* se ocupan con gran estension de esta importantísima obra, podrá tener ya poca importancia la publicacion de nuestro trabajo; pero en cambio nadie podrá acusarnos de ligereza y precipitacion.

Por otra parte, el perforador de Mr. Sommeiller tiene por base el de Mr. Bartlet, y por consiguiente no es un invento completamente nuevo; y aunque sea en extremo ingenioso y digno de estudio, no es tampoco una de esas invenciones extraordinarias, que solo al genio es dado hallar, y que por lo tanto exigen una absoluta reserva y un completo silencio, hasta que el inventor no crea conveniente darlas á luz.

Hechas estas aclaraciones continuemos nuestra tarea.

PRIMERA CONDICION: MOVIMIENTO LONGITUDINAL ALTERNATIVO DE LA BARRENA.

Para realizar la primera condicion basta unir sólidamente al émbolo E (fig. 29), del cilindro de aire comprimido CC', un tubo AA' que se prolongue por uno y otro lado de dicho cilindro, y que lleve en el extremo A' un ojo rectangular o: esto supuesto, para unir el útil al émbolo se introducirá el vástago de la barrena BB' en el extremo A', asegurando estas dos piezas por medio de una cuña o que las atraviese: y claro es que introduciendo aire comprimido en el cilindro CC', su accion se ejercerá sobre el émbolo E, y este la trasmitirá á la barrena BB', con lo cual habrémos conseguido nuestro objeto.

SEGUNDA CONDICION: MOVIMIENTO CIRCULAR CONTINUO DE LA BARRENA.

Hé aquí cómo es probable que se haya dispuesto el aparato para llenar la segunda condicion.

Supongamos, fig. 30, que

CC' representa el cilindro;

E el émbolo;

AA' el tubo que va unido al émbolo;

y finalmente, B el útil, ó sea la barrena.

Si en prolongacion del eje del cilindro disponemos una rueda dentada DD', y hacemos que su eje $d d'$ penetre en el tubo AA', es claro que bastará dar al interior del tubo, y á la varilla

de la rueda, una de las formas que indican las figuras 30^{2.}, 30^{3.}, ú otras equivalentes, y comunicar al propio tiempo á la rueda dentada DD' un movimiento circular, para que este se trasmita al tubo AA' y á la barrena B, sin que tal disposicion impida el movimiento alternativo del útil; pues es evidente que el tubo AA' deslizará sobre la varilla dd' , sin que esta oponga obstáculo alguno á dicho deslizamiento.

En las figuras 30^{2.}, 30^{3.}, A representa la seccion por mn del tubo, y d ó d' la seccion de la varilla que va unida á la rueda DD'.

TERCERA CONDICION: MOVIMIENTO LONGITUDINAL DEL CILINDRO.

Puede utilizarse para este fin todo el mecanismo que hemos descrito anteriormente, y con solo agregar algunas piezas mas al aparato, se conseguirá trasformar el movimiento de rotacion del tubo AA', (fig. 31), en un movimiento longitudinal para el cilindro.

Supongamos que el tubo AA' lleve una lengüeta ll' , y que sobre dicho tubo como eje, pero sin formar cuerpo con él, se monta la rueda ó tornillo FF', en cuya superficie se han labrado varios dientes ó estrías helizoidales ff' ; es claro, 1.º, que si la lengüeta ll' penetra en el macizo de la rueda dentada FF', el movimiento de rotacion del eje AA' se trasmitirá á dicha rueda FF'; 2.º, que esto no impedirá en manera alguna el movimiento alternativo del tubo AA', pues que la lengüeta deslizará libremente en la ranura practicada en el interior de dicho tornillo FF'.

Ahora bien, si paralelamente al eje del cilindro AA' se disponen dos cremalleras ó barras dentadas GG', G'G', que engranen con los dientes de la rueda FF', el movimiento de rotacion de dicha rueda se trasformará en un movimiento de traslacion, paralelo á las barras dentadas. Uniendo pues el cilindro CC' á la rueda FF', esta le hará marchar en el sentido que indica la figura, y de este modo quedará satisfecha la tercera condicion.

Se pueden unir fácilmente estas dos piezas, de modo que la rueda dentada solo comunique al cilindro el movimiento longi-

tudinal y no el de rotacion : basta para ello que el cilindro lleve una especie de collar ó reborde cc , figura 31^{2.º}, que penetre en la rueda FF' sin formar cuerpo con ella : es evidente que la rotacion de la rueda no se transmitirá al cilindro, con tal que este se apoye en dos guías, que destruyan la pequeña tendencia al giro que el rozamiento de la rueda con el reborde cc desarrolle; pero que al propio tiempo, todo movimiento longitudinal de la rueda, ya en uno, ya en otro sentido, se transmitirá al cilindro CC' . Por lo demas advertiremos, que, solo como ejemplo presentamos esta disposicion, la cual puede en la práctica ser substituida por otras mas ventajosas, y que aun es inútil para el movimiento de avance.

Veamos, antes de pasar adelante, cómo se combinan los varios movimientos del sistema, que acabamos de explicar. Sobre el conjunto de estas diferentes piezas actúan dos fuerzas : una que es el aire comprimido sobre el émbolo E , produciendo un movimiento longitudinal de vaiven ; otra (que ya indicaremos mas adelante cual es) sobre la rueda DD' , produciendo un movimiento circular al rededor del eje XX de todo el aparato.

El movimiento alternativo del émbolo se transmite á la barrena B y produce el trabajo útil : el movimiento circular de la rueda DD' se transmite por la varilla cuadrada $d d'$ al tubo AA' y produce dos efectos : 1.º, por la rotacion de dicho tubo la rotacion de la barrena ; 2.º, por el intermedio de la lengüeta longitudinal ll' , la rotacion de la rueda FF' ; y finalmente, esta rueda, por su engrane con las barras GG , $G'G'$, comunica un movimiento longitudinal á las tres piezas del sistema AA' , FF' y CC' .

Mientras estos movimientos tienen lugar, la lengüeta ll' y la varilla $d d'$ deslizan en cada excursion del émbolo, la primera en la ranura de la rueda FF' , la segunda en el interior del tubo AA' .

De todas las piezas que llevamos descritas, son visibles en el aparato de Mr. Sommeilleur las siguientes :

- 1.º la DD' .
- 2.º la rueda de dientes helizoidales FF' .
- 3.º el cilindro CC' .

4.ª las barras dentadas GG, G' G'.

5.ª la pieza AA' y la barrena BB'.

Son interiores, y por lo tanto quizá no existan tal como las hemos descrito, y se hallen sustituidas por otras disposiciones equivalentes;

1.º la varilla dd'.

2.º la lengüeta ll'. Ya veremos mas adelante que puede reemplazarse, y es probable que se haya reemplazado esta última, por otro mecanismo mas ventajoso.

CUARTA CONDICION: RELACION ENTRE EL MOVIMIENTO DE LA
BARRENA Y EL MOVIMIENTO DEL CILINDRO.

Para saber la disposicion que Mr. Sommeilleur ha dado al perforador á fin de que cumpla con este principio general, hubiera sido preciso ver desarmado el aparato; pues de lo contrario, solo conjeturas fundadas en algunos elementos visibles podemos hacer; no obstante, teniendo en cuenta el juego y las posiciones de estos últimos, únicamente dos hipótesis pueden hacerse (y aun de estas solo una es admisible): por lo tanto solo dos casos examinaremos.

Primer caso. Supongamos que la figura 52 sea la proyeccion vertical del perforador, en la cual algunas piezas están representadas por sus cortes, otras por sus proyecciones completas, y en que hemos suprimido una de las barras dentadas para mayor claridad.

Las diferentes partes del mecanismo están representadas por las mismas letras que en las figuras anteriores; así pues,

CC' representa el cilindro.

AA' el tubo en que va montada la barrena B.

ll' la lengüeta.

FF' la rueda de dientes helizoidales.

DD' la rueda que comunica el movimiento de rotacion á la barrena.

dd' la varilla cuadrada de la rueda DD'.

GG' una de las barras dentadas.

gg' los dientes que engranan con la rueda $F'F'$.

Ahora bien, á fin de establecer cierta relacion entre el movimiento del cilindro y el del útil, se agregan al mecanismo las siguientes piezas.

1.° En el extremo del tubo AA' , un reborde L .

2.° Apoyándose contra este reborde, un resorte en espiral R .

3.° Un anillo M que rodea al tubo AA' sin formar cuerpo con él.

4.° En el borde inferior de las cremalleras $GG, G'G'$, una serie de dientes $gg''g'''$.

5.° En el tubo AA' , una cuña ó tope H .

6.° Una palanca aa' giratoria al rededor de a , y que bifurcándose en el extremo a' , termina en dos palancas proyectadas en $a'a''$, que se apoyan por su extremo a'' contra los dientes g'' de las barras $GG, G'G'$. Finalmente, esta palanca aa' lleva un tope H' contra el cual actúa la cuña H , cuando el tubo AA' avanza en sentido longitudinal.

7.° Un resorte r que se apoya en la pieza SS' , y que tiende á elevar la palanca $aa'a''$.

De todas estas piezas son visibles en el perforador:

El reborde L .

El resorte R .

La pieza M , si bien no se vé su union con el tubo AA' .

La palanca $a a' a''$.

La cuña H .

Los dientes $gg''g'''$.

En cuanto al resorte r y á la pieza SS' , es claro que pueden disponer ambas de muchas maneras, y entre ellas hemos escogido una de las disposiciones mas sencillas.

Ahora bien, si en el aparato de Mr. Sommeilleur no hubiera mas piezas que las que hasta aquí hemos descrito, es evidente que, aun cuando algo se regularizaría el trabajo del perforador, no se conseguiría este objeto sino de una manera muy incompleta.

En efecto, mientras las palancas $a'a''$ se apoyan contra los

dientes gg de las barras GG , $G'G'$, el punto a y el anillo M permanecen fijos, y la carrera del émbolo está determinada á la vez por la posición del cilindro CC' , y por el juego del resorte R ; cuando se profundiza el agujero del barreno, el tubo AA' avanza, la cuña H oprime al tope H' , y la palanca aa' gira al rededor de a : su extremidad a'' deja el diente de GG en que se apoyaba, y dicha palanca aa' , y el anillo M , avanzan á la vez, con lo cual los extremos a'' , de las palancas proyectadas en $a'a''$, se apoyan en los dientes g'' de las cremalleras.

Sin embargo, como mientras el punto M permanece fijo, la rueda FF' gira, y hace avanzar al cilindro CC' *independientemente casi del movimiento del útil B*, no se consigue regularizar la acción del aparato, y por esto sospechamos que debe tener el perforador algun otro mecanismo, igual ó análogo al que vamos á describir, por cuyo medio se pongan en relación inmediata y directa los movimientos respectivos de la barrena y del cilindro (1)

Segundo caso. Supongamos que se construye un perforador (fig. 33) compuesto de las mismas piezas que el de la figura 32, que acabamos de explicar, pero con las modificaciones siguientes:

1.^a Se suprime la lengüeta ll' de la fig. 32, de suerte que la rueda FF' queda independiente del tubo AA' .

2.^a La pieza M se compone de dos partes: la primera, ó sea la parte exterior, es un anillo al cual va unida la palanca aa' : la segunda es asimismo otro anillo NN' , algo mas ancho que el exterior, y montado directamente sobre el eje AA' .

3.^a Este segundo anillo NN' rodea al tubo AA' , penetra en el macizo de la rueda FF' , y termina en una serie de dientes laterales nnn .

4.^a La rueda FF' presenta en su interior un hueco cilíndrico

(1) En efecto; la disposición que habíamos sospechado es la misma que Mr. Sommeilleur emplea en su perforador, según hemos podido ver en las obras citadas en la nota precedente; y el aparato que estamos describiendo concuerda en todas sus partes, prescindiendo de algun insignificante detalle, con los empleados en Mont-Cenis. (Véase el Apéndice núm. 43)

co en el cual penetra la pieza NN' , y lleva una serie de dientes $n' n' n'$, que engranan con los de la primera cuando ambas ruedas están á la distancia conveniente.

5.º El anillo interior ó rueda dentada NN' , y el anillo M , están unidos por una lengüeta circular mm , de suerte que el movimiento de rotacion de la pieza N no se trasmite al anillo M , y por el contrario, todo movimiento longitudinal de una de estas piezas produce un movimiento idéntico en la otra.

6.º Finalmente, el movimiento de rotacion del tubo AA' se trasmite á la pieza N , en vez de transmitirse á la rueda FF' como en el caso anterior, por medio de una lengüeta ll' , que va unida á dicho tubo, y que penetra en el macizo de la rueda NN' .

Veamos ahora como, en un perforador construido segun acabamos de explicar, se regularizaria el trabajo del útil, y como la distancia D (pág. 76) permanecería constante; y para que se comprenda mejor el juego del aparato, imaginemos que se completa la fig. 33, con todas las piezas de la fig. 22, que no están representadas en dicha fig. 33, exceptuando las que han sido suprimidas ó modificadas segun acabamos de explicar.

Figuras 32 y 33. Para fijar las ideás supondrémos que las diferentes piezas del perforador ocupan las posiciones siguientes:

1.º La palanca $aa' a''$ se apoya contra los dientes g'' de las barras dentadas laterales $GG, G' G'$.

2.º El punto a y el anillo M permanecen por lo tanto fijos: en efecto, apoyándose la palanca $aa' a''$ contra el punto fijo g'' , todo movimiento de avance queda destruido, y por otra parte fácil sería impedir todo movimiento de retroceso, ya por una disposicion sencillísima, que no indicamos por no complicar la figura, ya haciendo que el extremo de la izquierda del resorte R no estuviera unido al reborde L del tubo AA' , ya finalmente por la misma tension del resorte, el cual apoyándose en L , oprime al anillo M de izquierda á derecha. De aquí se deduce que ni el anillo M ni la rueda NN' podrán retroceder tampoco.

3.º Los dientes nnn engranan en toda su profundidad con los $n'n'n'$ de la rueda FF' .

Ahora bien, la amplitud de las oscilaciones de la barrena estará determinada en parte por la posición del cilindro, y además por la mayor ó menor elasticidad del resorte R: cuando el émbolo avance en sentido del barreno, el resorte se acortará, dulcificando algo el choque del útil contra la roca, y por el contrario, cuando el émbolo retroceda, se dilatará en virtud de su fuerza elástica, toda vez que el reborde L se aleja del anillo fijo M y cesa de oponerse á este movimiento.

Mientras el émbolo oscila, la varilla dd' de la rueda DD' comunica al tubo AA' y á la rueda N, por la lengüeta ll' , un movimiento de rotación: dicha rueda NN', cuyos dientes engranan con los interiores de la rueda FF', hace girar á esta última, la que á su vez por su engrane con las barras GG, G'G', avanza longitudinalmente, y hace avanzar al cilindro CC'. Mas supongamos que la roca es tan dura, que el barreno penetra con menor velocidad, que la correspondiente al movimiento del cilindro: en tal caso el tubo AA' adelantará lentamente; la cuña II no alcanzará al tope H'; la palanca aa' permanecerá apoyándose constantemente contra el diente g'' ; el anillo M no se moverá de su posición inicial; tampoco avanzará la rueda N; y como por otra parte, la rueda FF' y el cilindro CC' continúan avanzando, llegará un momento en que los dientes nn de la rueda NN' dejarán de engranar con los $n'n'n'$ de la FF', y no comunicará por lo tanto aquella á esta última el movimiento de rotación de que está animada.

Desde este instante la rueda FF' y el cilindro cesarán de avanzar, y dure poco ó mucho el trabajo, avance ó no el útil, tárdesese una, dos ó mas horas en adelantar una sola línea, el cilindro permanecerá, durante todo este tiempo, en la misma posición. Mas cuando al fin ceda la roca, y avancen la barrena y el tubo A A', la cuña II se apoyará sobre el tope H', desengalgará la palanca $aa'a''$, y no estando ya sostenido el anillo M, obedecerá á la tensión del resorte, y oprimirá á la rueda NN' hasta hacer que los dientes n, n, n , engranen con los del tornillo FF'. Si suponemos que la profundidad de los dientes $n, n—n'$, es igual al intervalo entre los dientes gg'' , es claro que en

esta segunda posición el extremo a'' se apoyará en el diente g'' de las barras $G G, G' G'$, y comenzará un periodo de movimiento idéntico al que acabamos de explicar.

Cuanto menos dura sea la roca, tanto menor será el tiempo que permanezca la palanca apoyándose contra un mismo diente, y lo contrario puede decirse si la resistencia de la roca aumenta.

Si la dureza del terreno fuese homogénea, y la velocidad del cilindro igual á la del barreno, en el mismo instante en que los dientes n, n, n abandonasen á los $n' n' n'$ se desgalgaria la palanca, volverían á engranar las ruedas $N N', F F'$, y por lo tanto el cilindro $C C'$ no cesaría de avanzar con movimiento uniforme.

Así como hemos presentado esta disposición, que en nuestro juicio es una de las más sencillas que pueden imaginarse, hubiéramos podido presentar otras varias; mas creemos que basta lo dicho para que se comprenda el principio fundamental del perforador de Mr. Sommeilleur.

QUINTA CONDICION: MODO DE EVITAR LOS CHOQUES.

La elasticidad del aire y la del resorte R evitan en cierto modo los choques, y dan dulzura y regularidad á las oscilaciones de la barrena.

SESTA CONDICION: MOVIMIENTO DE RETROCESO DEL APARATO.

Veamos ahora como se consigue, que en un instante cualquiera cambie el sentido del movimiento longitudinal del mecanismo, á fin de que retrocediendo el tubo AA' , y saliendo el útil del agujero del barreno, se pueda sustituir por otro sin impedir ni dificultar el trabajo de los demás perforadores; mas es preciso que antes expliquemos, como se comunica á la rueda $D D'$ el movimiento de rotación, que á su vez ha de transmitir dicha rueda al resto del mecanismo.

La figura 34 indica la disposicion que se ha adoptado para conseguir este objeto.

Las piezas $D D'$; $d d'$; L ; $A A'$; R ; M ; $a a'$; $N N'$; $F F'$ y $C C'$, son idénticas á las de las figuras 33 y 32; $q q'$ es un eje horizontal, situado en el plano vertical del eje AA' , y que está compuesto de dos partes, $q P$, y $P q'$: la primera cilíndrica, la segunda de seccion rectangular, y probablemente esta última penetrará en el interior de la primera, de suerte que ambas giren á la vez, pero que la segunda pueda avanzar longitudinalmente sin que la primera participe de este movimiento. (Véase el Apéndice, núm. 15.)

Sobre dicho eje $q q'$ van montadas dos piezas, á saber: 1.ª, una rueda dentada Q' , que puede moverse lateralmente, y pasar de la posicion Q' á la posicion Q ; 2.ª, una rueda ó escéntrico P que lleva dos palancas proyectadas en $p p'$. Esta última forma cuerpo con el eje y corresponde á la rueda $D D'$, entre cuyos dientes caen las dos palancas $p p'$.

Finalmente, en prolongacion del eje de la rueda $D D'$, hay montada una rueda S que engrana con la rueda superior Q' , cuando esta ocupa la posicion Q .

La figura 35 representa la proyeccion vertical, en un plano de perfil, de las ruedas DD' , Q , S , P y de las palancas $p p'$, $t t'$, que van unidas al escéntrico P .

Veamos ahora como funcionan estos diferentes elementos del aparato.

Supongamos que la rueda Q ocupa la posicion Q' , fig. 34, y que las palancas $p p'$, $t t'$, figura 35, se apoyan sobre los dientes $Z Z'$ de la rueda DD' : si se comunica al eje $q q'$ un movimiento de rotacion, en el sentido que indica la flecha f , el escéntrico P girará al rededor de dicho eje q ; las palancas $p p'$ y $t t'$ oprimirán á los dientes Z, Z' de la rueda $D D'$, y comunicarán á dicha rueda un movimiento de rotacion en el sentido que indica la flecha f' : cuando la rueda inferior gire un ángulo correspondiente á la distancia de dos dientes, la palanca $p p'$ abandonará al diente Z , y entre tanto la palanca $t t'$ pasará del diente Z' al Z'' : asi se repetirá indefinidamente esta opera-

cion. Debemos observar que la palanca $t t'$ sostiene á la rueda $D D'$ en cada una de sus posiciones, mientras la $p p'$ pasa de un diente á otro, y recíprocamente. (Apéndice núm. 15.)

Comprendido el principio en que se funda este sistema de trasmision, fácil seria determinar en cada caso la longitud de las palancas, la relacion de las velocidades angulares del escéntrico y de la rueda $D D'$, y los demas elementos del sistema: debemos sin embargo observar, que por cada 180 grados que gire el escéntrico, solo girará una pequeña cantidad la rueda $D D'$; circunstancia que debe notarse muy particularmente, por razones que indicaremos mas adelante, al ocuparnos de la caja de distribucion de aire comprimido.

Fácil es tambien comprender la disposicion que debe darse al escéntrico para que el juego de las palancas corresponda á lo anteriormente espuesto, pero no entraremos en estos detalles por que no tienen gran importancia para nuestro objeto principal.

Tal es el sistema empleado para transmitir la rotacion del eje $q q'$ al eje del perforador $A A'$: veamos ahora, como sin cambiar el sentido de la rotacion del eje superior, se puede hacer que retroceda la barrena.

Basta para ello ejecutar dos operaciones sumamente sencillas, y que con la mayor rapidez, y sin detener la marcha general de los perforadores, se efectuan: 1.º levantar la palanca $p p'$, hacerla girar sobre el escéntrico, y dejarla caer sobre la palanca $t t'$, segun en la fig. 35^{bis} se indica; 2.º traer la rueda Q' , figura 34, á la posicion Q , de modo que engrane con la rueda S .

Hecho esto, es claro que continuando el eje q su movimiento de rotacion general, segun indica la flecha f' , fig. 35^{bis}, el sentido en que gira la rueda S será el que indica la flecha f' , y la rotacion de la rueda $D D'$, del eje $d d'$, fig. 34, y del eje $A A'$ cambiará de sentido, con lo cual el útil B retrocederá y saldrá del agujero del barrenado.

Expuestas las diferentes disposiciones adoptadas para realizar los principios generales á que debe satisfacer todo perfo-

:

rador, solo nos resta para completar la descripción del perforador de Mr. Sommeilleur, ocuparnos de dos puntos esenciales, á saber: 1.º caja de distribución del aire comprimido: 2.º movimiento de rotación del eje $q q'$ (fig. 34.)

CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE AIRE COMPRIMIDO, Y SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN.

En la figura 36 está representada la caja de aire comprimido, la varilla de la corredera, y el sistema de distribución. En cuanto á las diferentes partes del mecanismo representadas por las letras $A A'$, $C C'$, L , R , M , $N N'$, $F F'$, y $q q'$ nada tenemos que agregar á lo que ya hemos dicho anteriormente; solo debemos hacernos cargo de dos nuevos elementos: la caja de distribución $K' K'$, y la rueda $T T'$.

La caja $K' K'$ está unida al cilindro $C C'$, y recibe y distribuye convenientemente el aire, por medio de la corredera: la varilla de esta $k' k'$ sale por uno de los costados de la caja, y se prolonga hasta la rueda $T T'$.

Dicha rueda está montada sobre el eje $q q'$, y su espesor en sentido paralelo á este eje es desigual, según indica la figura: cuando dicha rueda ocupa la posición $T T'$, la varilla $k' k'$ avanza hacia la izquierda, y por el contrario cuando pasa á la posición $t t'$ retrocede hacia la derecha, y de este modo comunica á la corredera un movimiento alternativo rectilíneo, mediante el cual se arregla la entrada del aire comprimido en el cilindro, por uno de los métodos conocidos, y que por lo tanto es inútil que nos detengamos en describir. (Véase el Apéndice núm. 44.)

Como á una oscilación del émbolo corresponde una oscilación de la corredera, es evidente, que mientras dicha oscilación se verifique, ha de dar una vuelta la rueda $T T'$ y el eje $q q'$; mas por otra parte, en cada oscilación del émbolo el camino que avanza el útil es sumamente pequeño, y muy pequeño debe ser por lo tanto el camino recorrido por el cilindro y por la pieza $F F'$; ahora bien, para que esta rueda avance un pequeño espacio, es forzoso que el ángulo descrito por el eje $A A'$ y por la rueda D

D' sea tambien bastante pequeño, y por esta razon digimos anteriormente, que á una vuelta completa de la rueda P correspondia, en la rueda D D', solo la cantidad angular medida por la distancia entre dos dientes; cantidad que será en general de cortas dimensiones.

MOVIMIENTO DE ROTACION DEL EJE $q q'$.

Se comunica fácilmente un movimiento de rotacion al eje $q q'$, y á las tres ruedas Q, P y T T', que van montadas sobre él (fig. 34), por medio de una pequeña máquina de aire comprimido, que se apoya sobre el mismo bastidor en que descansa el resto del aparato, y por medio de un engranage de ángulo.

Veamos ahora cómo se agrupan los diferentes elementos que hemos descrito en los páginas precedentes.

DESCRIPCION GENERAL DE LOS PERFORADORES.

La figura 37 representa la proyeccion horizontal de un perforador.

O G G' G' G' representa el bastidor sobre el cual se apoyan las diversas partes del mecanismo.

O es una argolla en que entra una pieza del carro que sostiene y conduce los perforadores hasta la roca.

$x x'$ }
 $x' x'$ } Pequeños muñones que se apoyan en diferentes puntos
 $x'' x''$ } fijos del carro de los perforadores.
 $x''' x'''$ }

BB' Util ó barrena.

CC' Cilindro en que entra el aire comprimido.

K'K' Caja de distribucion.

k'k' Varilla de la corredera y guias de la varilla.

T Rueda para la distribucion.

FF' Rueda de dientes helicoidales.

NN Rueda para el movimiento longitudinal del cilindro.

M Anillo á que va unida la palanca $a a' a''$, que no se ha

representado de puntos por no complicar la figura.

R Resorte.

AA' Eje ó tubo en que va montado el émbolo.

L Reborde del eje AA'.

dd' Varilla que trasmite el movimiento de rotacion al eje AA'.

DD' Rueda que trasmite el movimiento de rotacion á la varilla dd'.

qq' Eje, paralelo al AA', que sirve para la distribucion del aire, y para comunicar á la rueda DD' un movimiento de rotacion.

P Escéntrico.

pp', } Palancas que transmiten la rotacion del eje qq' á la rueda DD'.
tt', }

rr' Resorte giratorio al rededor del punto r, y que apoya la palanca pp' contra la rueda DD'. Para comunicar al sistema un movimiento de retroceso, la primera operacion que debe hacerse consiste en colocar dicho resorte en la posicion que está figurada de puntos en el dibujo.

S Rueda montada sobre el mismo eje que la DD', y que sirve para el movimiento de retroceso.

Q Rueda montada sobre el eje qq', y que puede deslizar á lo largo de dicho eje hasta engranar con la rueda S: se emplea para el movimiento de retroceso del sistema.

Las diferentes piezas situadas en el extremo O del bastidor, constituyen una pequeña máquina de aire comprimido, que comunica al eje qq' un movimiento de rotacion.

cc' Cilindro de aire comprimido.

bb' Caja de distribucion.

e Escéntrico para la distribucion del aire comprimido.

jj' Eje motor.

E Engranage de ángulo.

X Volante.

GG, G'G' Barras dentadas: con los dientes laterales engrana la rueda FF', y sobre los dientes inferiores (que no se ven en la figura) se apoyan las palancas a' a''.

VV' Tubo que conduce el aire comprimido á las cajas de distribución $b\ b'$ y $K' K'$.

No se han representado en la figura, por no complicarla, ninguna de las piezas siguientes:

La palanca $a\ a'\ a''$ (fig. 52.)

La cuña H y el resorte de la palanca $a\ a'$.

Los dientes inferiores de las barras $G\ G$, $G' G'$.

La pequeña palanca $t\ t'$ de la figura 55.

Los detalles del escéntrico P.

La lengüeta de la rueda NN' .

Los dientes interiores de la rueda FF' .

El interior de la caja de distribución.

Y finalmente, el émbolo. (Véase el Apéndice, núm. 15.)

De lo dicho resulta que el aire comprimido obra como fuerza motriz en dos puntos del aparato: en el cilindro CC' , y en el pequeño cilindro $c\ c'$: en el primero para ejecutar el trabajo de perforación; en el segundo se utiliza: 1.º, para la distribución del aire en el cilindro $c\ c'$; 2.º, para comunicar al sistema los dos movimientos de rotación. La combinación, por decirlo así, de estas dos fuerzas regulariza la marcha del aparato.

DIMENSIONES Y PESO DE LOS PERFORADORES.

En el cortísimo tiempo de que pudimos disponer para ver los perforadores, nos fué imposible apreciar á la vista, y retener de memoria, las dimensiones aproximadas de sus diferentes elementos, y ni pudimos adquirir estos datos, ni los relativos al peso del aparato; no obstante, de la nota de Mr. Minotto que ya hemos citado en otra ocasión, (debemos advertir que no hay en dicha nota una sola palabra respecto al mecanismo de los perforadores), sacamos las siguientes noticias.

El peso de cada uno de los perforadores que primitivamente se ensayaron era de 340 kilogramos; pero, introduciendo algunas ligeras modificaciones, se esperaba reducir esta cifra á 250 kilogramos. Sin embargo, creemos que los perforadores últimamente construidos son mucho mas ligeros, y que por lo

tanto su peso no llegará al que espresa la cifra precedente.

En cuanto á las dimensiones generales del aparato, distinguiremos dos partes: 1.^a la parte fija de la izquierda (véase la fig. 57), en la que está situada la máquina auxiliar de aire comprimido; 2.^a la parte móvil de la derecha, en la cual se hallan las diferentes ruedas y piezas del perforador.

La segunda parte ocupa un paralelepípedo cuya longitud es de 2,10; su ancho 0,25; y su altura 0,40.

La longitud total del aparato será de 2^m,85, el ancho general 0,25 y la altura máxima 0,40. (Véase el Apéndice n.º 15).

Carro de los perforadores.

A fin de practicar á la vez un número considerable de barrenos en el fondo del túnel, y de que estallando todos al mismo tiempo, el efecto sea suficientemente enérgico, es forzoso colocar delante de la roca, á distintas alturas, y en diferentes líneas, una série de perforadores, iguales al que hemos descrito en el capítulo precedente, cuyo trabajo simultáneo prepare un gran número de agujeros en un corto período de tiempo, que será de unos catorce ó quince minutos, segun de las esperiencias hechas se deduce.

Para ello es indispensable disponer un mecanismo sobre el cual se apoyen los aparatos, y que satisfaga á las siguientes condiciones:

1.^a *condicion.* Que ofrezca un apoyo firme y estable á los aparatos perforadores.

2.^a *condicion.* Que permita colocar cada uno de dichos perforadores en la posicion conveniente, y con la inclinacion que se desée dar á los agujeros de los barrenos.

3.^a *condicion.* Que tenga un movimiento de avance, tan lento como sea necesario, para colocar los perforadores á la distancia conveniente de la roca.

4.^a *condicion.* Que terminada que sea la operacion, pueda trasladarse fácilmente á gran distancia del fondo de la galería, á

fin de que no alcancen á los aparatos las piedras que salten en la explosion de los barrenos.

A todas estas condiciones satisface cumplidamente el siguiente mecanismo, que hemos designado con el nombre de *Carro* de los perforadores.

El aparato considerado en su conjunto es una armadura, (fig. 58) en figura de paralelepípedo, formada de varias piezas ó barras de hierro, insiendiendo el conjunto sobre cuatro ruedas R, R', R'', R''' , montadas sobre dos ejes $EE, E'E'$: dichas ruedas se apoyan sobre el carril central del túnel $FF, F'F'$, y por lo tanto el sistema puede avanzar ó retroceder fácilmente, para lo cual puede emplearse como fuerza motriz el aire comprimido.

La parte esencial del aparato son cuatro montantes ó barras dentadas $AB, A'B', A''B'', A'''B'''$: sobre los dientes de cada dos montantes se apoyan diversos ejes ó barras cilíndricas $CD, C'D'$, que se sujetan sólidamente á dichos dientes, como indicaremos en breve; por último, sobre estos ejes, y por medio de dos pequeñas armaduras $abcde, a'b'c'$, se ajustan y colocan cada uno de los perforadores en la posicion conveniente: la figura 58 indica esta disposicion, y en ella se ha representado el bastidor $GG, G'G'O$ de un perforador.

Claro es que un aparato de esta especie cumple con las cuatro condiciones que acabamos de establecer: y en efecto, respecto á la primera condicion, es evidente que el peso del aparato, y el de los 15 ó 16 perforadores que sostendrá, (Véase el Apéndice núm. 17), es bastante considerable para que las reacciones producidas por los choques de las barrenas no le hagan retroceder; pero sin embargo, por si aún quedára alguna duda sobre este punto, se ha establecido en uno de los costados una especie de freno P , puesto en movimiento por una pequeña manivela n .

Por medio de dicha manivela y de un tornillo, se hace que cargue el peso del perforador sobre una especie de zapata inferior, y de este modo, todo movimiento es ya imposible; pues sería preciso para que el carro caminase en uno ú otro sentido, que las reacciones de los choques contra la roca venciesen, no

ya al rozamiento de rodadura de las ruedas $R R'$, sino al rozamiento que en P se establezca al resvalar el mecanismo sobre los carriles.

En cuanto á la segunda condicion, se ve desde luego que pudiendo colocarse cada uno de los ejes $CD, C'D'$, á diferentes alturas, y pudiendo asimismo establecerse las armaduras $abcde, a'b'c'$, en diferentes puntos de dichos ejes, las barrenas podrán tomar todas las inclinaciones que se juzgue necesario darles.

Debe notarse ademas: 1.º que las dos partes, abc, dbe , de la armadura $abcde$, están unidas de tal modo que pueden girar al rededor del eje xx , de suerte que los planos abc, dbe , pueden formar diferentes ángulos: 2.º que ambas armaduras $abcde, a'b'c'$ pueden girar al rededor de los ejes $CD, C'D'$. Estos pequeños movimientos facilitan el establecimiento de cada perforador en la posicion conveniente.

La fig. 39 indica la posicion que deberá darse á los ejes C, C', C'', C''' y á las armaduras $CE, C'E', C''E'', C'''E'''$, para que el barreno tenga la inclinacion ab ó la $a'b'$.

Tal vez la union en C y en C' de los ejes y de las armaduras no sea bastante sólida, y giren estas últimas al rededor de los ejes proyectados en C, C' ; pero fácil será, dado caso que esto tenga lugar, corregir este defecto.

La fig. 40 representa la posicion que debe darse á las armaduras $abcd, a'b'c'$ sobre los ejes $CD, C'D'$ para que el barreno xx se incline á uno ú otro lado, en proyeccion horizontal.

Sin embargo, en el caso en que deban colocarse á la vez muchos perforadores sobre el carro ó armadura que los sostiene, si se quisiera dar inclinaciones diversas y encontradas á los ejes de los barrenos, sería forzoso disminuir el número de los aparatos, y este inconveniente será tanto mayor cuanto mas pronunciada sea la inclinacion del barreno.

Para satisfacer á la tercera condicion lleva el carro, fig. 38, un sistema de ruedas dentadas R'', R''', R'' , puestas en movimiento por una manivela m , las que por medio de otra rueda de engranage R'' , montada sobre el mismo eje que el par de ruedas $R' R'$, comunica á dicho eje un movimiento de rotacion

tan lento como se juzgue necesario, y que por el rozamiento de dichas ruedas $R'R'$ con los carriles $F'F'$, FF , se convierte en movimiento longitudinal. De este modo se puede comunicar al sistema propuesto, pequeños movimientos de avance ó de retroceso, y colocar á los perforadores á la distancia conveniente de la roca.

Por último, es claro que arrastrando todo el sistema sobre el carril FF , $F'F'$ se puede cumplir con la cuarta condicion.

Para completar la esplicacion del mecanismo que estamos describiendo, indicaremos los detalles de varios de los elementos que le constituyen.

La figura 41 representa una de las armaduras en que se apoyan los perforadores.

CD . . . representa el eje ó la barra cilíndrica que hemos designado por las mismas letras en la fig. 38.

a }
 c } son dos anillos que abarcan dicho eje CD .

a' }
 c' } dos tornillos de presion.

b la union ó el eje que une las dos partes abc , dbe , de la armadura.

d }
 e } dos anillos que abrazan los ejes de los perforadores.

d' }
 e' } dos tornillos de presion.

La figura 42 representa la armadura en que se apoya el extremo O del perforador (fig. 37.)

a y c . . } representan dos anillos ó abrazaderas como las de a' y c' . . } la figura 41.

bb' es el eje que entra en la argolla del perforador.

La figura 43 representa las proyecciones de la union de la barra cilíndrica CD , figura 38, con uno de los montantes.

C } es la barra cilíndrica ó eje en que se apoyan las armaduras.
 $C'D'$. . }

AB . . . }
 A' } es un montante del carro de los perforadores.

:

$m n p$. . . }
 $m' m' p'$. . . } la pieza de union.
 r } una cuña de presion. Pudiera substituirse dicha cuña
 r' } por un tornillo $t t'$.

Depósitos de agua. Forma parte integrante del sistema anteriormente descrito otro segundo carro, fig. 58, análogo al de los perforadores, y que sostiene tres calderas ó depósitos de agua $V V' V''$. A la parte superior de dichas calderas se une un tubo que comunica con el de aire comprimido, y á la parte inferior otro tubo cuyo objeto es dirigir á los agujeros de los barrenos una corriente de agua fria. El aire de la parte superior de las calderas oprime enérgicamente la superficie del líquido, y de este modo, sale una corriente de agua animada de una gran velocidad, que choca contra los agujeros que abren las barrenas, arrastra los detritus, limpia la parte perforada, y al propio tiempo refresca constantemente los útiles.

Personal necesario para el servicio de los perforadores.
 La sencillez de todos los mecanismos descritos, y lo fácil y expedito de sus movimientos, hacen innecesario un personal numeroso. Se calcula, pues, que bastarán
 4 hombres para el servicio de los carros que sostienen los útiles,
 y 2 maquinistas para dirigir el trabajo de los perforadores.
 (Véase el Apéndice, núm. 17.)

EFECTO ÚTIL DE LOS PERFORADORES.

La ventaja capital de los aparatos de perforacion anteriormente descritos, consiste en el gran impulso que dan á los trabajos, y en la rapidez con que por lo tanto se consigue que avance el subterráneo.

Digimos ya, al comenzar esta Memoria, que por los procedimientos ordinarios hubiera sido preciso emplear 56 ó 58 años para la terminacion del túnel; que á reducir este largo plazo á otro mas corto, y que mas en los límites de lo hacedero se hallase, se habian dirigido los esfuerzos de los Ingenieros; y que

han creído conseguir tal objeto, con la invencion de los aparatos cuya descripcion hemos dado en las páginas precedentes.

Se han hecho, en efecto, algunas esperiencias preparatorias, y los resultados, segun las noticias que hemos recogido, y los datos que hemos tenido á la vista al redactar este escrito, han sido en extremo satisfactorios.

Empotrando bloques de mármol en el suelo, y colocando el perforador á una distancia conveniente, no solo el trabajo marchaba con gran rapidez, sino que la vibracion producida en la roca, por los repetidos y fuertes golpes de la barrena, era á veces tan grande, que el bloque se hacia pedazos y saltaba de su empotramiento.

En un cuarto de hora, y trabajando contra piedras calizas duras y resistentes, practicaba el perforador mecánico agujeros de 0,^m735 de profundidad, mientras que dos hombres no hubieran perforado durante el mismo tiempo mas que un barrenó de 0,^m047. Así, pues, se reduce el tiempo necesario para la perforacion á $\frac{1}{45}$ del que en la última hipótesis hubiera sido necesario emplear.

Sustituyendo á la caliza, *sienita*, piedra extraordinariamente dura, el perforador mecánico practicaba en 15 minutos un agujero de 0,402 metros de profundidad, al paso que en el mismo tiempo solo 0,022 metros hubieran podido abrir dos mineros. La ventaja era pues mayor que en el caso precedente; el tiempo empleado en la perforacion se reducía á $\frac{1}{22}$ del que sin el auxilio del perforador mecánico se hubiera empleado.

Por lo tanto, aun contando con alguna interrupcion en el trabajo, por rotura de útiles, cambio de los perforadores, tiempo empleado en poner la máquina en la posicion mas conveniente etc., siempre se economizan las $\frac{9}{10}$ partes del tiempo que los procedimientos ordinarios exigirían.

Verdad es que no es esta la única operacion que el empleo de los barrenos supone, y que aún restan otras varias, como son la carga y atacadura, la voladura, y la extracción de escombros; pero calculando que el tiempo empleado en la aper-

tura del barreno, es una fraccion considerable del tiempo total, todavía se obtiene una gran ventaja por el uso de los perforadores.

Supongamos que la apertura del barreno comprende las tres cuartas partes del tiempo total; es claro, que con la aplicacion de los perforadores, se reduce casi á una cuarta parte este tiempo; y si por los procedimientos ordinarios se hubieran empleado 34 años en la apertura del túnel, el empleo de los nuevos aparatos reduce dicho periodo á ocho años y medio, con lo cual el proyecto pasa de la esfera de las obras racionalmente imposibles, al de una empresa difícil y larga, es cierto, pero que puede emprenderse con fundadas esperanzas de un buen éxito.

Debemos aún advertir, que en el discurso ya citado del Sr. Menabrea se habla, aunque de modo vago, de aparatos sumamente ingeniosos para sacar los escombros que resultan de la explosion de los barrenos; pero como ni en nuestra visita á Bardoneche pudimos verlos, ni aquellos á quienes sobre este punto preguntamos pudieron darnos noticia alguna, creemos, que ó se habrá renunciado á este procedimiento, ó no habrán llegado todavía á la obra los mecanismos en cuestion.

Entre otras objeciones que al sistema anterior se han hecho, y de que mas adelante nos ocuparemos, hay una que, aunque de poca importancia, indicaremos en este lugar.

Segun resulta de las experiencias hechas con los perforadores, el trabajo comunicado al útil ó á las barrenas es á lo mas $\frac{1}{14}$ del que virtualmente contenía el aire comprimido, lo cual da para el coeficiente de efecto útil 0,0714; y como por otra parte, el compresor hidráulico solo aprovechaba 0,50 de la caida de agua, en el perforador se aprovechará únicamente $0,5 \times 0,0714 = 0,0357$ del trabajo motor, resultado en extremo desventajoso. Sin embargo, del aire acumulado en las calderas tan solo se utiliza una fraccion mínima (667 metros cúbicos á 6 atmósferas), comparada con la que se emplea para la ventilacion (14333), y en último resultado, por desventajoso que sea en general el empleo del aire comprimido, su adopcion para

el caso presente está, como ya hemos dicho en otras ocasiones, plenamente justificada.

DETALLES SOBRE LOS TRABAJOS PARA LA PERFORACION.

Aun cuando al visitar las obras no estaban montados los compresores hidráulicos, y por lo tanto no funcionaban los aparatos de perforacion, sin embargo, segun se nos dijo, y hemos visto despues comprobado en una nota relativa al Túnel de Mont-Cenis, se organizarán los trabajos del modo siguiente.

1.° Se colocarán 17 perforadores sobre el carro descrito en la página 97; de estos 17 perforadores se situarán 10 en la parte inferior y en una línea horizontal, y los 7 restantes á diferentes alturas y en distintas direcciones, segun la forma y los accidentes de la roca.

2.° Se aproximará el carro á la distancia conveniente, y se pondrán en comunicacion los cilindros con el tubo de aire comprimido.

3.° Terminada que sea la apertura de los 17 barrenos, se cambiará la posicion de los 17 perforadores, situando los 10 de la parte inferior en la misma línea horizontal en que se abrieron los primeros, y los otros 7 en las posiciones mas convenientes, segun la disposicion del terreno.

4.° Practicados ya otros 17 agujeros en la roca, se repetirá por tercera vez esta operacion, con lo cual resultarán 30 barrenos en la base del túnel y sobre un plano horizontal, próximamente á la altura del suelo, y 21 barrenos á diferentes alturas de la roca.

5.° Se retirarán los aparatos y se efectuarán las dos operaciones de carga y atacadura.

6.° Por medio de una pila eléctrica se dará fuego á estos 51 barrenos.

7.° Se lanzará la masa de aire comprimido que sea necesaria para purificar la atmósfera.

8.° Se procederá despues á la estraccion de los escombros

por medio de pequeños carros que correrán sobre carriles situados entre los del carro de los perforadores, se regularizará el suelo de la galería, y se prolongarán los carriles centrales.

La fig. 44 indica el frente y un corte de la galería de ataque.

$\left. \begin{array}{l} a\ b\ .\ .\ . \\ a'\ b'\ .\ .\ . \\ c;\ c'\ c'\ .\ . \\ d;\ d'\ d'\ .\ . \\ e;\ e'\ e'\ .\ . \\ f;\ f'\ f'\ .\ . \\ g;\ g'\ g'\ .\ . \end{array} \right\}$ Representan los 50 barrenos de la base, y
 $\left. \begin{array}{l} c;\ c'\ c'\ .\ . \\ d;\ d'\ d'\ .\ . \\ e;\ e'\ e'\ .\ . \\ f;\ f'\ f'\ .\ . \\ g;\ g'\ g'\ .\ . \end{array} \right\}$ Los 21 barrenos practicados á diferentes alturas.

La explosion de los 51 barrenos destacará de la roca la masa A B C D, cuyas dimensiones vamos á calcular, segun los datos que se suponen en las noticias y notas á que anteriormente nos hemos referido.

Las dimensiones de la seccion trasversal son las siguientes: 2,5 de ancho y 2,5 de altura, y de aquí se deduce que su area será $2,5 \times 2,5 = 6,25$ metros cuadrados. Por otra parte la profundidad de los barrenos será 0,60 y por lo tanto el volúmen desmontado por los 51 barrenos, $6,25 \times 0,6 = 3,75$ metros cúbicos. Calculando que para cada voladura de 51 barrenos, con todas las operaciones accesorias, se necesitan próximamente cinco horas,—á saber: una hora para la apertura de los barrenos, otra para la extraccion de escombros, y tres horas para la purificacion del aire y operaciones accesorias,—resulta que en 24 horas se podrá repetir cinco veces la voladura de la roca, y que por lo tanto el avance será de $0,6 \times 5 = 3$ metros por cada extremo del túnel, ó sean seis metros por las dos bocas. En esta hipótesis se necesitarian poco mas de seis años para la terminacion de la obra.

Es casi inútil hacer notar, que el sistema de ataque que acabamos de exponer está sujeto á muchas variaciones, y á modificaciones diversas, segun la experiencia vaya mostrando sus defectos, y aconsejando otro orden mas conveniente.

Solo nos resta, para terminar nuestra tarea, hacernos cargo de las objeciones que se han dirigido contra el sistema de ejecucion adoptado, dejando sin embargo aparte las que al principio de esta memoria examinamos. (Véase el Apéndice, número 18.)

PRINCIPALES OBJECIONES

QUE SE HAN HECHO

CONTRA EL SISTEMA DE PERFORACION

DEL

TÚNEL DE MONT-CÉNIS.

Como era natural que sucediese, tratándose de una obra tan importante, y en que tantos intereses se hallan comprometidos, las objeciones han sido numerosas, y, á decir verdad, algunas de ellas tan fundadas, que solo la experiencia podrá desvanecerlas por completo.

Dividirémos todas ellas en varios grupos, á fin de proceder con orden en el análisis que intentamos hacer. Refierense dichas objeciones á alguno de los 6 puntos siguientes;

- 1.º Falta de agua ó de fuerza motriz.
- 2.º Sistema de compresion.
- 3.º Depósitos de aire comprimido.
- 4.º Conduccion del aire desde las calderas al fondo del túnel.
- 5.º Utilidad de los perforadores mecánicos, y tiempo que será preciso emplear en la perforacion.
- 6.º Ventilacion de la galería principal y de la galería de ataque.

Examinemos sucesivamente cada uno de estos puntos.

- 1.º *Objeciones fundadas en la falta de agua ó de fuerza*

motriz en Bardoneche. Ya al ocuparnos de este punto en la pág. 49, nos hicimos cargo de los diferentes datos que tenemos á la vista al redactar esta memoria, y que hasta cierto punto, segun allí decíamos, son contradictorios: vimos tambien, que á ser cierto lo que se nos dijo en Bardoneche, y tomando por base la cifra 86.000 metros cúbicos en 24 horas, la objecion carecia absolutamente de fuerza.

A mas de esto, hicimos notar en la pág. 48, que hay una altura de 16 metros que no se ha creido necesario aprovechar, y que sin embargo, en un caso extremo, puede utilizarse, con lo cual se aumentaria considerablemente la fuerza motriz. Mas sin embargo, algunos ingenieros creen, que ya que la cantidad de aire que se necesita para la ventilacion no sea mayor que la calculada, por lo menos deberá lanzarse con una gran velocidad, á fin de que, al salir á la galería, agite enérgicamente la masa de los gases que hayan resultado de la combustion, y se mezcle con ellos en pocas horas, en cuyo caso seria insuficiente la fuerza de los compresores hidráulicos, para conseguir tal resultado, y habria que acudir á otro sistema mas enérgico. Al ocuparnos de las objeciones referentes á la ventilacion de la galería, nos harémos cargo de la observacion anterior, que es en extremo importante, y que está enlazada con el punto capital, á nuestro modo de ver, de esta difícilísima empresa. De cualquier modo que sea, es claro que la objecion en sí, *fundada tan solo en la falta de agua ó de un motor hidráulico bastante enérgico*, no es decisiva, ni ataca por su base el sistema de perforacion; que una obra tan importante no ha de fracasar ciertamente por falta de fuerza motriz, pues aun dado caso que el motor hidráulico fuese insuficiente, se podrian, en este caso extremo, montar máquinas auxiliares de vapor, ó acudir á otro sistema análogo.

2.º *Objeciones relativas al sistema de compresion.* Han atacado el sistema y los aparatos de compresion, entre otros Ingenieros, Mr. Minotto y Mr. Caligny.

El primero de estos dos, si bien acepta la idea de utilizar la fuerza viva de columnas líquidas oscilantes para la compresion

del aire, creyendo preferible este sistema al empleo de bombas ú otros mecanismos análogos, y aunque reconoce que el coeficiente de efecto útil 0,60 es superior al de la mayor parte de los aparatos que pudieran emplearse, señala algunos defectos de los compresores inventados por los ingenieros piamonteses, y concluye este punto de su escrito, estableciendo que debe modificarse el aparato en cuestion, de tal suerte que en lo posible se aproxime al ariete hidráulico, suprimiendo por lo tanto las válvulas y los mecanismos que sirven para ponerlas en movimiento.

Al propio tiempo indica otro aparato, que cree preferible al de los ingenieros piamonteses, y del cual damos una idea en la nota 3.^a En apoyo de su opinion recuerda, que el coeficiente del efecto útil del ariete hidráulico es 0,66, y que aun puede elevarse á 0,86, y algunas veces á 0,92.

Mr. Caligny combate tambien el empleo del compresor hidráulico, fundándose, entre otras varias razones, en que se pierde una gran parte del trabajo motor de la columna líquida, dejando salir del aparato, al terminar cada una de las oscilaciones, toda la masa de agua que se ha elevado en la rama ascendente del sifon.

El compresor hidráulico, dice Mr. Caligny, se funda en un principio que yo he descubierto ha mucho tiempo; pero no se ha comprendido su importancia, ni su verdadero espíritu, y se ha aplicado de una manera defectuosa é irregular.

Todas estas objeciones no atacan seguramente la idea fundamental del sistema, ni aun la bondad de los aparatos de compresion, y por lo tanto poco dirémos sobre ellas.

Que es muy posible que trabajando, y aprovechando las lecciones de la esperiencia, se puedan mejorar dichos aparatos, y obtener por lo tanto un coeficiente de efecto útil superior á 0,50, es cosa evidente, y fuera de toda duda; mas hasta el dia el mecanismo de los Ingenieros piamonteses es, segun de las esperiencias hechas se deduce, el mejor, ó uno de los mejores aparatos empleados en comprimir el aire, y mientras nuevos ensayos no pongan de manifesto las ventajas de otros sis-

temas, es lógica, y por lo tanto racional, la adopción del compresor hidráulico. En cuanto á la observación de Mr. Caligny, si bien es forzoso reconocer que es fundada, también es cierto que la pérdida de trabajo motor, según las dimensiones del aparato, es bastante pequeña comparada con el total.

3.º *Objeciones relativas á los depósitos de aire comprimido.* Se quiso sostener por algunos, que no era posible acumular en calderas de hierro una gran masa de aire, á la elevada presión de 6 atmósferas, sin que resultaran pérdidas de consideración por las uniones de las planchas; mas la experiencia ha probado terminantemente lo contrario, según en la pág. 50 digimos, y por lo tanto nada agregaremos á lo que allí hemos espuesto sobre este punto.

4.º *Objeciones relativas á la conducción del aire desde las calderas al fondo del túnel.* Antes que las experiencias de que en otro lugar nos hemos hecho cargo, hubieran quitado una gran parte de su fuerza á esta objeción, se aseguraba por algunos Ingenieros que el aire comprimido llevado á tan largas distancias (2000, 5000 y 7000 metros) no conservaría sino una pequeñísima parte de su presión inicial, y que por lo tanto no podría utilizarse como motor, lo cual, á ser cierto, echaba por tierra el sistema de los Ingenieros piamonteses. Por fortuna, experiencias hechas en grande escala, con tubos de 400 metros de desarrollo, y en circunstancias desventajosísimas, han probado, según parece, que el aire llegará al fondo del túnel con presiones suficientes para el uso á que se destina.

Y sin embargo ¿no queda todavía alguna incertidumbre sobre este punto? ¿Son tan concluyentes los resultados de las experiencias mencionadas? Siempre que se trate de longitudes, por decirlo así, comparables á la de 400 metros, sin duda alguna; mas cuando en circunstancias tan especiales ha de verificarse el movimiento del gas por la cañería, algo sale este caso de lo ordinario, y siempre queda alguna duda en el ánimo, ya que no respecto á la posibilidad de llevar el aire con presiones utilizables, al ménos en cuanto á los resultados numéricos que fija la comisión.

5.º *Objeciones sobre la utilidad de los perforadores y sobre el tiempo que será preciso emplear para la perforacion.*

Muchas dudas se han presentado sobre la utilidad de los aparatos perforadores; pero, aun cuando algunas de ellas tengan bastante fundamento, bien puede asegurarse que las dificultades prácticas que se presenten, y de las cuales ya algunas se preveen, podrán vencerse al fin.

Indicaremos desde luego varias de estas objeciones.

1.ª Dudan algunos si el tiempo ganado por la celeridad con que se practican los agujeros, no estará compensado por la dificultad en remover el aparato, ajustarle á la roca etc. etc; pero esta objecion no merece siquiera un exámen detenido, pues es evidente que todas estas causas de retardo son relativamente insignificantes.

2.ª Los barrenos, dice Mr. Minotto, no pueden hacerse todos paralelos al eje de la galeria, por que las presiones ejercidas por la explosion de la pólvora actuarian paralelamente á la seccion transversal del túnel, y se destruirian unas con otras, sin producir ningun efecto útil, descargándose por lo tanto los barrenos como si fueran una bateria de fusiles. Es pues indispensable dar á los diferentes agujeros alguna inclinacion, y se duda si podrá conseguirse este resultado sin que unos perforadores tropiecen con otros, siendo imposible de este modo el establecimiento de los 17 perforadores sobre el carro anteriormente descrito.

La disposicion del carro, el ingenioso artificio en que se funda, sus dimensiones generales y las de los aparatos de perforacion, prueban clara y evidentemente que no existe tal dificultad; y por otra parte aun cuando en alguna ocasion fuera preciso reducir el número de los perforadores, aun así estos serian muy suficientes para la voladura de la roca.

3.ª La tercera objecion se refiere al servicio de los perforadores, y al poco espacio que queda, á un lado y otro del carro, para el paso de los maquinistas.

El ancho de cada perforador es superior á 0,20 y por lo tanto los 10 perforadores de la parte inferior ocuparán cuando

ménos, y aun suponiendo que esten en contacto, una longitud de $0,20 \times 10 = 2^m$: ahora bien, como el ancho de la galeria es próximamente 2,5, solo quedará á cada lado del carro un espacio de 0,25 para el paso de los maquinistas, lo que hará en estremo difícil el servicio de los aparatos.

Debe observarse ante todo, que sin disminuir sensiblemente el efecto de los barrenos, podrian suprimirse en la parte inferior dos ó tres perforadores, con lo cual quedaria un ancho de 0,35; pero además de esto, como los 10 perforadores ocupan la base de la galeria, y el espacio superior queda libre, los maquinistas podrán pasar sin dificultad entre el carro y la roca.

4.º Las barrenas $c c'$ figura 45 no pueden actuar á flor de tierra, sino á una altura por lo menos de $\frac{0,4}{2} = 0,20$, que es la altura de los perforadores, y por consiguiente el macizo de roca que se desprenda por la explosi6n de los barrenos será $c d e f$. De aquí resulta, que el plano $c d$ no estará á la altura ab del suelo de la galeria, y que quedará un escalon $c b d d'$ que será preciso desmontar antes de prolongar el carril central; lo cual segun observa Mr. Minotto contribuye notablemente á retardar la perforaci6n.

Sin embargo, este inconveniente desaparece inclinando algo los barrenos, segun indica la figura 46, en cuyo caso las aristas $a a' a''$ quedan en el plano general de la galeria; ó bien puede darse á los barrenos inferiores la disposici6n que representa la figura 47. En este último caso, es fácil destacar los pequeños prismas $a' b' c'$, $a'' b'' c''$, y queda el plano inferior $b c''$ en prolongaci6n del suelo del túnel.

5.º ¿No podria suceder que al estallar los barrenos, las rocas que salten descompongan ó rompan el carril? ¿No será preciso relocalar la roca, quitar algunos puntos salientes etc., antes de establecer de nuevo los perforadores?

Y todas estas dificultades y todos estos acci6ntes ¿no entorpecerán los trabajos y compensarán, en último resultado, el tiempo que se haya ganado por la rapidez con que los perforadores trabajen?

Diffícil es contestar á todos estos puntos, mientras la experiencia no pruebe que carecen de importancia tales observaciones, ó por el contrario las confirme; y sin embargo, parece natural que no sea tanta su influencia como se ha querido suponer, y aun respecto á varios de estos inconvenientes se ve desde luego el medio de corregirlos.

6.º Para que el túnel avance tres metros por día, es forzoso que los perforadores trabajen cinco veces contra la roca, ó lo que es igual, que tengan lugar cinco voladuras, lo que supone que la duracion de cada uno de estos periodos es de cinco horas próximamente. Ahora bien, el volúmen de escombros que será preciso sacar despues de cada esplosion se eleva á unos cuatro metros cúbicos; pero trabajando al aire libre se calcula, dice Mr. Minotto, de 56 á 40 minutos para cargar un metro cúbico en un carro, y aun suponiendo, lo que sin embargo no puede suponerse, que se trabaje con tanta rapidez en una galeria estrecha (2,5 de ancho) como á cielo abierto, solo para cargar los cuatro metros cúbicos se tardará mucho mas de dos horas, y quizá mas de tres horas tambien. Agréguese á esto el tiempo necesario para sacar los escombros, y resultará que una gran parte de las cinco horas, que forman el tiempo total de un periodo de trabajo, se invierte tan solo en la carga y estraccion de los trozos de roca destacados por las esplosiones de los barrenos.

Aun cuando sea algo exagerado el dato en que se funda la objecion anterior, tiene esta indudablemente mucha fuerza, y es la mas digna, á nuestro juicio, de un exámen detenido entre todas las que anteriormente hemos indicado.

La carga y la extraccion de los escombros es en efecto una de las operaciones mas difíciles que se han de presentar en la apertura del túnel, y de las que exigirán mas cuidado y esmero en la organizacion de los trabajos.

7.º Dice Mr. Flachat que el trabajo del útil que marche mas lentamente será el que determine, por decirlo así, el tiempo necesario para abrir los agujeros de los barrenos, y dá á entender á la vez, que siempre que se rompa un útil habrá

que interrumpir el trabajo de los demas ; pero basta el exámen del mecanismo que hemos descrito , para conocer que esta objecion carece completamente de fundamento.

En el subterráneo de Saint-Martin, continúa el mismo Ingeniero , se han necesitado hasta quince puntas de útil para cada barreno , y aun cuando solo se necesiten cinco ó seis en el de Mont-Cénis , esta será una nueva y poderosa causa de retraso. Sin embargo, la pérdida de tiempo, como acabamos de indicar, no será grande, gracias á la ingeniosa disposicion de los perforadores.

8.^a Finalmente , una vez terminada la perforacion de los barrenos , dice Mr. Flachat , principia una série de operaciones en las que las ventajas todas están de parte de los procedimientos ordinarios , y contra el empleo de los perforadores : dos hombres deben en efecto limpiar y cargar 54 barrenos, al paso que en el trabajo ordinario cada obrero limpia y carga uno solo. Hé aquí , pues , otra nueva causa de retraso.

La observacion de Mr. Flachat es exacta , si bien puede reducirse esta pérdida de tiempo organizando convenientemente el trabajo.

Hemos creido conveniente presentar una por una las diversas objeciones anteriores , no porque la mayor parte de ellas tengan gran fuerza, sino porque todas reunidas constituyen un conjunto de pequeñas causas , que , si no hacen imposible la apertura del túnel , como algunos suponen , aunque bajo este punto de vista, sin verdadero fundamento á nuestro juicio, por lo ménos prueban que son algo exagerados los cálculos de los ingenieros , y que no bastarán seguramente seis años para la perforacion de la galería.

Agréguense, en efecto , dos horas y media , cuando ménos, á las cinco horas calculadas para cada periodo de trabajo , y resultarán siete horas y media para un avance de 0,6, ó sean 2 metros en 24 horas por cada boca del túnel : de donde resulta que el tiempo necesario para la apertura del subterráneo será de nueve años próximamente, aun sin contar con otras dificultades , de que nos harémos cargo en breve.

Y es fácil convencerse de ello con solo recorrer la série de operaciones que en un periodo de trabajo será preciso efectuar.

- 1.º Ventilar la galería.
- 2.º Cargar y estraer los escombros.
- 3.º Destacar los prismas que indicamos en la fig. 45 ó 47, é igualar las paredes.
- 4.º Reparar las pequeñas descomposiciones de los carriles y prolongarlos en los 0,6 metros de avance.
- 5.º Igualar el fondo de la galería.
- 6.º Hacer avanzar los perforadores.
- 7.º Colocarlos en las posiciones y con las inclinaciones convenientes.
- 8.º Guiar el trabajo de los perforadores y reponer los útiles rotos ó gastados.
- 9.º Sacar el carro de los perforadores y el de las calderas de agua.
10. Limpiar, cargar y atacar los barrenos.
11. Salir los obreros.
12. Prender fuego á los barrenos.

Aun se presenta otro obstáculo para la perforacion de la galería de ataque, que indicaremos antes de terminar este punto. En efecto, al propio tiempo que la galería de ataque avanza, es preciso ensanchar su boca hasta las dimensiones definitivas del túnel, y como el desmonte se ha de efectuar por medio de barrenos, esta circunstancia dificultará y entorpecerá la perforacion de la galería central. Suponiendo que se practican los barrenos para el ensanche de la galería al propio tiempo que los del fondo de la misma, y que á la vez se les prende fuego, para que ambas marchen con la misma velocidad, será preciso que en cada periodo de cinco horas se estraiga un volúmen de roca equivalente á la seccion de ensanche multiplicada por 0,6, ó sean, suponiendo como término medio 60 metros cuadrados para la seccion transversal del túnel,

$$(60-6,25) \times 0,6 = 32,25 \text{ metros cúbicos.}$$

Es, pues, indispensable cargar y estraer del túnel este volúmen, ademas de los cuatro metros cúbicos procedentes de la

galería de ataque, y si bien es cierto que el espacio es mas desahogado que en esta última, y que pueden por lo tanto colocarse mas trabajadores para la carga, y mas vehículos para el transporte que en la galería central, de todas maneras, la estraccion de esta masa considerable de roca, ha de entorpecer forzosamente el trabajo, y ha de ocupar mas tiempo que el calculado para dichas operaciones.

6.° *Objeciones relativas á la ventilacion de las dos galerias.* Hé aquí á nuestro juicio, el punto capital de esta gran cuestion de arte, y del que depende por lo tanto esclusivamente, ó poco ménos, el buen ó mal éxito de la empresa. Posible es ventilar las galerías, puesto que, ya con los aparatos de compresion de aire, *ya agregando nuevos motores*, puede lanzarse al fondo del túnel el aire necesario para purificar los productos de la combustion de la pólvora, de suerte que se forme una atmósfera en que puedan penetrar los obreros sin peligro; mas esto no basta, es preciso que tal efecto se produzca *en un número determinado de horas*, á saber: *en hora y media ó dos horas* cuando mas (segun los cálculos de los ingenieros), para que cada periodo de trabajo solo dure 5 ó 6 y $\frac{1}{2}$ horas, y de este modo se avance, en cada 24 horas, tres metros, ó por lo ménos dos; y precisamente sobre este punto surgen dudas y se presentan dificultades que solo la esperiencia podrá resolver.

Calcula la comision: 1.°, que serán suficientes 0,8 kilogramos de pólvora por metro cúbico de desmonte: 2.°, que por cada kilogramo de pólvora basta lanzar á la galería 250 metros cúbicos de aire para purificar la atmósfera.

En esta hipótesis, véase la cantidad de aire que será preciso introducir en la galería.

Suponiendo una seccion de 40 metros cuadrados, (que es la cifra de que, segun parece, partió la comision) y un avance por dia de 3 metros, resulta en 24 horas un desmonte de $3 \times 40 = 120$ metros; y por lo tanto la cantidad de pólvora necesaria en 24 horas será $120 \times 0,8 = 96$ kilogramos.

Así pues, en un dia de trabajo se necesitará una masa de

:

aire igual á $96 \times 250 = 24.000$ metros cúbicos próximamente, que es la base de que partimos en la pág. 45, al contar 20.000 metros cúbicos para el ensanche de la galería y próximamente 4000 para la pequeña galería de ataque.

Mas aquí se presentan desde luego dos dificultades :

1.^a La cifra 0,^k8 por metro cúbico de desmonte parece baja á algunos Ingenieros entre los que se cuenta Mr. Flachat, que cita, en apoyo de su opinion, la perforacion del subterráneo de Saint-Martin, en el cual se ha gastado 1,^k5 por metro cúbico, es decir, el doble casi de lo que supone la comision.

Sin embargo, atendiendo á la naturaleza de las rocas que el túnel de Mont-Cenis ha de atravesar, creemos que es aceptable el dato de la comision, y que es por lo tanto infundada la objecion de Mr. Flachat.

2.^a La hipótesis de que se ha partido respecto á las dimensiones de la seccion trasversal del túnel, y segun la que se ha obtenido el resultado de 96 kilogramos de pólvora en 24 horas, es de todo punto inadmisibile, por que en un túnel de tal longitud no puede adoptarse racionalmente una seccion inferior á 70 metros cuadrados, y en este supuesto se duplicaria casi la cantidad de pólvora y la masa de aire necesario, resultando, segun el citado Ingeniero, insuficientes los compresores hidráulicos para la ventilacion de la galería.

3.^a Finalmente, como la purificacion de la atmósfera viciada por los gases de la pólvora *no se ha de verificar de una manera uniforme en el espacio de 24 horas*, sino, para cada período de trabajo, en hora y media ó dos horas, pues las cuatro restantes se necesitan para la apertura de los barrenos, carga de escombros, extraccion de los mismos etc. etc., es claro que debe hacerse un nuevo cálculo, —cálculo que no ha hecho la comision— teniendo en cuenta este nuevo é importantísimo elemento.

En cada periodo de trabajo de cinco horas se avanza próximamente 0,6, por lo tanto se desmonta :

En la hipótesis de una seccion de 40 metros— $40 \times 0,6 = 24$ metros cúbicos.

En la hipótesis de una seccion de 70 metros— $70 \times 0,6 = 42$ metros cúbicos.

Y contando á razon de $0,8$ por metro cúbico , se empleará en la primera hipótesis $24 \times 0,8 = 19,2$ kilogramos y en la segunda $42 \times 0,8 = 33,6$ kilogramos de pólvora por cada período de cinco horas de trabajo.

Finalmente la cantidad de aire que ha de lanzarse á la galería será, en la primera hipótesis $20 \times 250 = 5000$ metros cúbicos:

En la segunda— $34 \times 250 = 8500$ metros cúbicos ; pero es necesario que los compresores den esta masa de aire en dos horas á lo mas, puesto que las tres horas restantes, como hemos dicho, son indispensables para la estraccion de escombros, perforacion etc.

En la página 49, vimos que , según los datos que se nos habian comunicado, los compresores hidráulicos podian condensar en $24,^k 116.000$ metros cúbicos de aire ó en dos horas $\frac{116.000}{12} = 9.666$ metros cúbicos, cantidad muy superior á la calculada anteriormente: así pues , bajo este punto de vista y á ser exactos, como creemos, los datos anteriores, el servicio de la ventilacion está asegurado.

Mas si estas primeras objeciones no parecen fundadas, no sucede lo mismo con la que ahora vamos á esponer, siquiera sea ligeramente.

La nube de humo y de gases deletereos que resultan de la explosion, dice Mr. Flachat, ocupará un espacio considerable de la galería de ataque, y una gran parte del túnel; pero los gases no se mezclan sino lentamente con el aire de la atmósfera, á ménos que se agiten con gran violencia ó que salgan con una gran velocidad, y por lo tanto no basta, como la comision supone, lanzar á las galerías el volúmen de aire calculado.

No se ha observado, continúa Mr. Flachat, que la combustion de 100 kilogramos de pólvora en una galería cerrada por uno de sus extremos, es un hecho completamente nuevo, y que exige especial estudio y nuevas experiencias: se ha creído que

bastaba lanzar 250 metros cúbicos de aire por kilogramo de pólvora, para purificar en poco tiempo la atmósfera, y no es tan seguro que se obtenga este resultado, como segun parece se ha supuesto, á decir verdad, con sobrada ligereza.

Así, pues, segun Mr. Flachat, los gases de la explosion, y el aire que lancen al túnel los compresores, tardarán muchas horas en mezclarse, y por lo tanto no podrán tener lugar en 24 horas las cinco voladuras, que son necesarias para que el túnel avance tres metros por día.

Solo puede conseguirse la ventilacion del túnel, en concepto de dicho ingeniero, no ya mezclando aire á los gases deletereos de la pólvora, sino arrojando dichos gases del subterráneo. Supongamos que lanzando aire al fondo del túnel, ocupe dicha masa el espacio BDEF (fig. 48), y que el humo se reuna en el espacio rayado ABCD; será preciso, segun Mr. Flachat, que la masa de aire que lanzan los compresores detrás, por decirlo así, de los gases de la pólvora, arroje rápidamente dichos gases ABCD de la galería, como si formáran el émbolo de una máquina de vapor; y en esta nueva hipótesis, continúa el citado ingeniero, son insuficientes los aparatos de compression para conseguir tal resultado.

Supongamos: 1.º, que los compresores dan 116.000 metros cúbicos de aire en 24 horas, ó sean 1,35 m. c. en un segundo; 2.º, que la seccion trasversal del túnel sea sucesivamente de 40 y 70 metros cuadrados; y calculemos la velocidad de la masa de gases en la galería en las dos hipótesis anteriores, 1.º para una longitud media de 3.000 metros; 2.º para la longitud extrema de 6.000 metros:

Podrémos con estos datos formar la siguiente tabla:

LONGITUD.	SECCION.	CANTIDAD de aire por segundo.	VELOCIDAD DE los gases en el túnel.	TIEMPO QUE LOS gases tardarán en salir del túnel.
3.000	40	1,35 ^{m. c.}	0,0338	24 horas.
3.000	70	1,35	0,0195	43 h.
6.000	40	1,35	0,0338	48 h.
6.000	70	1,35	0,0195	86 h.

La tabla anterior prueba, que si en efecto el aire no se mezcla con los gases de la pólvora, la ventilacion es imposible en el corto espacio de hora y media, ó dos horas; pero prueba tambien de una manera, á nuestro modo de ver terminante, que la hipótesis de Mr. Flachat es de todo punto inadmisibile.

Dos medios se presentan en efecto para la ventilacion :

1.º Segun los ingenieros piamonteses, mezclar aire puro á los gases que se desprendan de la pólvora.

2.º Arrojar mecánicamente dichos gases acumulando aire en el fondo del túnel.

De estos dos sistemas podrá ser insuficiente el primero, pero es á todas luces inaceptable el segundo.

A fin de que el túnel avance 3 metros por dia, es forzoso atacar cinco veces la roca en 24 horas, lo que supone cinco voladuras, y por lo tanto para que la ventilacion se verifique en una hora ó poco mas, es preciso lanzar al túnel, atendiendo á los datos de la tabla anterior, una masa de aire por segundo, cuarenta y tres veces mayor que la que dan los perforadores, cuando el túnel llegue á 3.000 metros, y ochenta y seis veces mayor cuando su longitud sea de 6.000 metros: veamos qué fuerza motriz seria indispensable para conseguir este resultado. Suponiendo, solo para fijar las ideas, que se emplean máquinas de vapor, y que su coeficiente de efecto útil sea el de los perforadores, su fuerza deberia ser igual á $48.000 \times 86 =$ próxi-

mamente 55.040 caballos de vapor, que, á 5.000 reales caballo de vapor, suponen un capital de 165 millones, solo para las máquinas, sin contar por lo tanto los edificios, el combustible, ni los demas gastos que son inherentes á este género de trabajo.

Mas aunque el sistema que indica Mr. Flachat no sea aceptable, esto no quita fuerza alguna á la objecion que presenta.

Que la velocidad del aire en la galería es sumamente pequeña, y que por lo tanto la agitacion que produzca en la atmósfera de gases deletereos será débil, es cosa clara y evidente.

Que el periodo de cinco horas depende muy principalmente de este dato, es decir, del tiempo que tarden en mezclarse el aire y los gases de la pólvora, es indudable; y por consiguiente hay todavía una incógnita en el problema, que puede dar ocasion á muchas complicaciones y á grandes dificultades. Para vencer estas, si realmente se presentan como es muy de temer, ocurren desde luego diferentes medios mas ó menos eficaces, pero que no nos detendremos á esponer, porque esto seria salirnos del plan general de esta memoria, cuyo único objeto es describir los medios de perforacion hasta hoy empleados.

Conste, sin embargo, que, á nuestro entender, esta es la clave del problema, y que vencida la dificultad de la ventilacion, ninguna otra será bastante á impedir la ejecucion de esta grande é importante empresa.

RESÚMEN Y CONCLUSIONES.

DEL rápido estudio que hemos hecho del túnel de Mont-Cénis, se desprenden varias consecuencias que pueden resumirse como sigue:

Primera. Las operaciones necesarias para la perforacion del túnel son las siguientes:

1.^a Practicar en el eje del túnel una galería de ataque y ensancharla á medida que penetre en la roca.

2.^a Emplear, para la apertura de dicha galería central, perforadores mecánicos puestos en movimiento por medio de aire comprimido, los cuales practiquen los barrenos en la décima ó duodécima parte del tiempo que exigirían los métodos ordinarios; y aplicar á la vez, para el ensanche de dicha galería, barrenos de mano, puestos en movimiento tambien por el aire comprimido.

3.^a Abiertos ya los agujeros de los barrenos, cargarlos y determinar su esplosion por la chispa eléctrica.

4.^a Purificar la atmósfera lanzando á ella una gran masa de aire.

5.^a Acumular, fuera de la galería, por medio de los compresores hidráulicos, grandes cantidades de aire á la presion de seis atmósferas, y llevar esta masa de aire por medio de tubos al fondo del subterráneo, á fin de utilizarla como fuerza motriz en los perforadores, y para la ventilacion del túnel.

Segunda. Los compresores hidráulicos pueden lanzar en 24 horas próximamente 416.000 metros cúbicos de aire.

Tercera. El tiempo calculado para las operaciones de perforacion de los barrenos, carga de los mismos, voladura, ventilacion, y estraccion de escombros, es de cinco á siete horas y media, y en cada série de estas operaciones se supone que el avance será 0,^m6, lo cual da para el adelanto diario del subterráneo de dos á tres metros, y para el tiempo que se empleará en la apertura del túnel de seis á nueve años.

Cuarta. El sistema adoptado para la compresion del aire, es sin duda alguna ventajosísimo, á ser ciertas las noticias que se nos dieron, y el coeficiente de efecto útil, 0,6, de los compresores hidráulicos, prueba la bondad intrínseca de estos aparatos.

Quinta. Las experiencias citadas en la pag. 53, demuestran que podrá llevarse el aire comprimido hasta el fondo del túnel con presiones utilizables aun para el trabajo que ha de ejecutar.

Sexta. Los perforadores y los carros en que van apoyados son aparatos sencillos é ingeniosos en su construccion: la accion de dichos perforadores sobre la roca es enérgica y rápida, y reduce á $\frac{1}{4}$, ó $\frac{1}{4}$, el tiempo necesario para practicar los barrenos.

Creemos por lo tanto que podrán aplicarse con gran ventaja en todos aquellos casos en que el terreno sea de roca y haya de atacarse por la pólvora; pero es claro que tales aparatos única y esclusivamente tienen aplicacion para esta clase de terrenos.

Sétima. Concretándonos al túnel de Mont-Cénis, el empleo de los perforadores es sin duda alguna ventajoso; pero no reducirá el tiempo necesario para la apertura del túnel á la décima ó duodécima parte del que los métodos ordinarios exigirían, como á primera vista pudiera creerse, porque hay dos operaciones importantísimas que no pueden abreviarse, á saber; 1.^a, la carga y estraccion de escombros: 2.^a, la ventilacion.

Este último punto ofrece, aun hoy mismo, algunas dudas, é infunde serios temores, pues no hay datos seguros para calcular cuanto tiempo tardarán en mezclarse los gases que resul-

ten de la esplosion de la pólvora y el aire que se lance á la galería, ni si será preciso activar artificialmente esta mezcla por medio de aparatos especiales.

Octava. Finalmente, si esta gran obra llega felizmente á su término, se habrá dado un gran paso en la apertura de túneles de gran longitud que atraviesen masas de roca, y creemos por consiguiente, que el uso de los perforadores mecánicos llegará á generalizarse, y proporcionará grandes ventajas, sobre todo en punto á rapidez. Mas por otra parte, puesto que la perforacion se activa, y que en un corto espacio de tiempo se vuelan un número considerable de barrenos, será forzoso acudir á medios enérgicos de ventilacion, y será mas difícil estraer los escombros que resulten. Todo esto complicará seguramente la construccion de la obra; pero tal inconveniente es consecuencia lógica y natural de la ventaja obtenida por la rapidez en la perforacion, y no hay modo de evitarlo.

Por otra parte, es claro que siempre que puedan practicarse gran número de pozos, y por lo tanto sea posible multiplicar los puntos de ataque, los perforadores perderán una gran parte de sus ventajas: no solo porque seria inútil ya activar la perforacion, cuando sobra tiempo para terminar la obra, sino porque cada perforador supone una fuerza motriz, — ya sea esta vapor de agua ó aire comprimido, y por lo tanto una máquina ó aparato que prepare y transmita dicha fuerza motriz, — y al propio tiempo un sistema enérgico y rápido de ventilacion, todo lo cual ocasiona gastos considerables.

Las consideraciones que preceden reducen á sus justos límites el empleo de los mecanismos de Mont-Cenis, y hacen ver cual es su verdadero valor, y cuales los casos en que pueden tener natural y lógica aplicacion.

Para túneles de gran longitud y que han de abrirse en su totalidad, ó poco menos, en roca; que no puedan ser atacados por medio de pozos; y en cuya apertura por lo tanto haya de tardarse mucho mas tiempo que en la construccion de la línea, ó seccion de línea férrea á que pertenezcan, el empleo de los perforadores mecánicos (si se consiguen vencer las dificultades

prácticas que en esta memoria hemos procurado explicar) está indicado, y es natural y ventajoso: por su medio podrán abrirse dos metros de túnel por ambas bocas en 24 horas, y quizá con las mejoras que en dichos aparatos se introduzcan, venciendo la dificultad de la ventilacion, y organizando convenientemente los trabajos de carga y estraccion de escombros, podrán abrirse 2, 2,5 ó 3 metros en 24 horas, lo cual da para avance diario 4, 5, ó 6 metros. Pero siempre el establecimiento de los perforadores deberá combinarse con sistemas perfectos y enérgicos de ventilacion.

Por el contrario, para túneles pequeños, ó en que puedan multiplicarse los puntos de ataque, y en una palabra, siempre que su construccion no retrase considerablemente la apertura de la línea, por no exigir mas tiempo que el necesario para la terminacion de esta ó de la seccion en que se hallen, y finalmente cuando no sea preciso acudir á la pólvora, los perforadores mecánicos no tienen aplicacion de ningun género. José Echegaray.—Manuel Pardo.—Luis Vasconi.

NOTAS.

Primera.—Teoría del compresor hidráulico.

EL cálculo del movimiento del compresor hidráulico comprende los elementos siguientes:

- 1.º Velocidad de la columna líquida en un instante cualquiera.
- 2.º Tiempo transcurrido entre el instante inicial y una posición cualquiera de la columna líquida.
- 3.º Tiempo necesario para reducir el aire de la rama ascendente á seis atmósferas.
- 4.º Tiempo de la escursión ascendente.
- 5.º Tiempo de la escursión descendente.
- 6.º Tiempo total de un periodo de trabajo.
- 7.º Volúmen de aire comprimido en un periodo de trabajo.
- 8.º Volúmen de aire comprimido en una hora.
- 9.º Volúmen de agua gastado en un periodo de trabajo.
10. Volúmen de agua necesario para comprimir seis decímetros de aire, á la presión atmosférica, hasta reducirlos á un decímetro cúbico.

La determinación de todos estos elementos depende única y exclusivamente de la ecuación general del movimiento del agua en el sifon, y por lo tanto trataremos ante todo de resolver este problema.

Estableceremos á este fin las siguientes notaciones.

H, altura del depósito superior C, (figura 49) sobre la válvula de salida A.

h , altura de la válvula de la caldera E sobre dicha válvula A.

x , espacio recorrido en la rama ascendente A E por la superficie de la columna líquida, contada dicha distancia desde la válvula A como origen.

L, longitud del tubo C B A.

p , peso del metro cúbico de agua.

A, altura de una columna de agua equivalente á la presión atmosférica.

R, radio del tubo C B A.

v , velocidad de la columna líquida.

t , tiempo empleado por dicha columna líquida en recorrer el espacio x .

Despreciaremos, para el cálculo del movimiento del agua en el sifon, las resistencias pasivas debidas á los codos, válvulas, inercia del aire etc. etc.

La máquina actúa del modo siguiente en la primera semi-oscilacion ascendente.

Al abrirse la válvula de admision, la columna líquida sube por la rama A E comprimiendo el aire contenido en el tubo. Cuando la presión del aire encerrado en dicha rama es superior á seis atmósferas, la válvula E se abre y el aire penetra en la caldera S. Por último, el aire comprimido del depósito S, cuya presión escende á seis atmósferas, en razón á la nueva cantidad de aire inyectado, reobra sobre el agua de la parte inferior, y hace subir por el tubo s un volumen de agua dependiente de la cantidad de aire que ha penetrado en el depósito. En la semi-oscilacion descendente el agua contenida en la rama AE sale por la válvula ó llave de desagüe A, y al propio tiempo se cierra la válvula E de la caldera, y se abre la válvula de admision de aire a .

Consideraremos tres periodos en el movimiento:

1.º Desde el instante inicial hasta aquel en que el aire del tubo AE llega á la presión de seis atmósferas. Durante dicho pe-

riodo la válvula E está cerrada, y actúan las fuerzas siguientes sobre las masas en movimiento:

1.ª La presión de la columna líquida CBM sobre la superficie M.

Dicha presión constituye la fuerza motriz del sistema, y su intensidad va decreciendo á medida que la superficie M se eleva en la rama AE.

2.ª La presión del aire contenido en la columna ME.

3.ª Los rozamientos de la columna líquida con el tubo.

Estas dos últimas fuerzas constituyen las resistencias del sistema.

Para establecer la ecuación del movimiento, partiremos del principio de las fuerzas vivas, á saber: «en un periodo cualquiera, la mitad del incremento de la fuerza viva de las masas es igual al trabajo de las fuerzas que actúan sobre el sistema.»

La masa líquida en movimiento en un instante cualquiera es la correspondiente á la columna CBM: su volumen será:

$$\pi R^2 (L+x);$$

y dicha masa será por lo tanto $\frac{\rho \pi R^2 (L+x)}{g}$.

Puesto que la velocidad inicial de esta masa era *cero*, y *v* la velocidad en el instante que consideramos, la mitad del incremento de la fuerza viva correspondiente á este periodo será igual á

$$\frac{1}{2} \rho \pi R^2 (L+x) \frac{v^2}{g} \quad (1).$$

Calculemos ahora el trabajo motor del agua y el trabajo resistente del aire y de los rozamientos.

Para calcular el trabajo motor producido por la columna líquida *ab*..... *pn* (fig. 50) al pasar de esta posición á la *ab*..... *nm*, descompondremos dicha columna en elementos *ab*, *bc*, *cd* infinitamente pequeños, y calcularemos el trabajo elemental correspondiente al espacio *mn*.

Sean ω y *l* la sección y la altura de uno de estos elementos, y supongamos que el elemento *ab* pasa á la posición *bc*, este á la *cd* y así sucesivamente, hasta que por último el elemento *np* sube á la posición *mn*.

El trabajo elemental de cada una de estas masas será :

$$\rho \omega l \times l = \rho \omega l^2.$$

Mas observemos que el trabajo de todos los elementos de la rama ah' es esencialmente positivo, al paso que el de todos los elementos de la rama nn' es negativo, y por lo tanto el trabajo correspondiente á los elementos de la columna hh' estará compensado por el de los elementos correspondientes á la rama nm' , y solo quedará como trabajo motor final el que desarrollen los elementos de la columna $ah = H$. Suponiendo que el número de elementos contenidos en dicha columna es n , el trabajo motor será:

$$n \times \rho \omega l^2 = \rho \omega . l . n . l = \rho \omega H . l.$$

Si prescindimos del factor constante $\rho \omega$, el trabajo elemental $H . l$ estará espresado geométricamente por el área del rectángulo EDD' , cuyas dimensiones son $DE = l$ y $DD' = H$. Del mismo modo probaríamos que en el instante siguiente el trabajo motor elemental estaria representado por el rectángulo FEE' cuyas dimensiones son $EF = l$; $EE' = H'$, y así sucesivamente.

Si suponemos que la distancia l , tiende hacia *cero*, la suma de los rectángulos EDD' ; FEE' ; GFF' será el área del trapecio $DD' MM'$, cuya base DD' será igual á H , cuya altura MD será igual á la escursion de la columna líquida, y en que la recta $M'D'$ pasará por el punto O .

El valor numérico del trabajo motor será igual al producto del área del mencionado trapecio por el factor constante $\rho \omega$, y tendremos por lo tanto la espresion

$$\rho \omega \times M D \times \frac{M M' + D D'}{2} = \rho \omega x . \frac{H + H - x}{2} = \rho \omega \left(H - \frac{x}{2} \right) x.$$

Al trabajo motor de la columna líquida, debemos agregar el trabajo de la presion atmosférica, para obtener de este modo el trabajo motor total.

Dicho trabajo debido á la presion atmosférica será igual á $\rho \omega A x$, y por lo tanto tendremos finalmente:

$$\text{Trabajo motor total} = \rho \omega x \left(H + A - \frac{x}{2} \right) = \rho \pi R^2 x \left(H + A - \frac{x}{2} \right) (2).$$

Calculemos (figura 49) el trabajo resistente del aire á lo largo del camino x .

El aire encerrado en la rama A E ocupaba en el instante inicial el volúmen $\pi R^2 h$ á la presión de una atmósfera, y al llegar la superficie líquida A á la posición M, su volúmen ha quedado reducido á $\pi R^2 (h-x)$, por lo tanto el trabajo resistente estará dado en valor numérico y en signo por la expresión (página 54),

$$\rho \pi R^2 h A \log. \frac{h-x}{h} \quad (5).$$

Finalmente el trabajo resistente de los rozamientos de la columna C B A, de la cual todos los puntos han recorrido el espacio dx , se obtendrá integrando el trabajo elemental

$$2 \pi R (L+x) \beta \frac{v^2}{g} dx,$$

siendo β un coeficiente numérico determinado por la experiencia, y en que hemos despreciado el término del rozamiento relativo á la primera potencia de la velocidad.

Integrando, pues, entre 0 y x resultará:

$$4 \pi R \frac{\beta}{2g} \int_0^x (L+x) v^2 dx. \quad (4)$$

Aplicando al movimiento de la columna líquida el principio de las fuerzas vivas, y sustituyendo por la fuerza viva del sistema y por los trabajos de las fuerzas exteriores sus valores (1) (2) (3) (4), tendremos por último:

$$\frac{1}{2} \rho \pi R^2 (L+x) \frac{v^2}{g} = \rho \pi R^2 x \left(H + A - \frac{x}{2} \right) +$$

$$\rho \pi R^2 h A \log. \frac{h-x}{h} - 4 \pi R \beta \int_0^x (L+x) \frac{v^2}{2g} dx,$$

ó simplificado:

$$(L+x) \frac{v^2}{2g} = x \left(H + A - \frac{x}{2} \right) + h A \log. \frac{h-x}{h} -$$

$$\frac{4 \beta}{\rho R} \int_0^x (L+x) \frac{v^2}{2g} dx.$$

Esta ecuación nos dá el valor de la velocidad v en funcion del espacio x ; pero como el término relativo al rozamiento contiene la integral $\int_0^x (L+x) \frac{v^2}{2g} dx$, es preciso para despejar v , diferenciar antes dicha ecuacion.

Haciendo $H+A=H'$; $\frac{4}{R\rho} = B$; y $(L+x) \frac{v^2}{2g} = y$, tendríamos,

$$y = x \left(H' - \frac{x}{2} \right) + h A \log. \frac{h-x}{h} - B \int_0^x y dx,$$

y diferenciando $\frac{d y}{d x} + B y = H' - x - \frac{h A}{h-x}$.

Integrando la ecuacion precedente resultará,

$$y = (L+x) \frac{v^2}{2g} = e^{-Bx} \left(C + \int e^{Bx} \left(H' - x - \frac{h A}{h-x} \right) dx \right);$$

se determinará la constante C por la condicion $v=0$ para $x=0$.

Si prescindimos del rozamiento, tendremos $B=0$, y el valor de v se obtendrá por la ecuacion,

$$v = \sqrt{2g} \sqrt{\frac{x \left(H' - \frac{x}{2} \right)}{L+x} + h A \frac{\log. \frac{h-x}{h}}{L+x}}.$$

Si por el contrario queremos tener en cuenta el rozamiento

deberémos efectuar la integral $\int e^{Bx} \left(H' - x - \frac{h A}{h-x} \right) dx$ que se descompondrá en otras tres.

La primera $H' \int e^{Bx} dx$, se obtendrá directamente y será igual á $H' \frac{e^{Bx}}{B}$.

La segunda $-\int e^{Bx} x dx$ se integrará por partes, y tendremos,

$$-\int e^{Bx} x dx = -x \frac{e^{Bx}}{B} + \frac{e^{Bx}}{B^2} = \frac{e^{Bx}}{B} \left(\frac{1}{B} - x \right).$$

Finalmente, para integrar la espresion $h \Lambda \int \frac{e^{\frac{Bx}{h-x}}}{h-x} dx$

se desarrollará la esponencial $e^{\frac{Bx}{h-x}}$, y observando que el coeficiente $B = \frac{4\beta}{R\rho}$, —suponiendo $\beta = 0,385$, $R=0,1$, y $\rho = 1.000^k$,— es próximamente igual á 0,0144, podremos tomar los primeros términos del desarrollo $1 + \frac{Bx}{1} + \frac{B^2 x^2}{1.2} + \dots$ de dicha esponencial. En efecto, aún en el caso estremo de ser el rádio R igual á 0,1, el término $\frac{B^3 x^3}{1.2.3}$ será igual á

$$\frac{0,0144^3 x}{1.2.3}$$

cantidad inferior á 0,000003 x^3 .

Sustituyendo los valores de las tres integrales anteriores en el valor de v , y representando por $\varphi(x)$ el segundo miembro, que será bastante complicado, tendremos finalmente: $v = \varphi(x)$, (a).

Poniendo por v su valor $\frac{dx}{dt}$ y despejando dt , resultará

$$dt = \frac{dx}{\varphi(x)}, \text{ é integrando, } t = \int_0^x \frac{dx}{\varphi(x)} \quad (b).$$

Las dos espresiones (a) y (b), que pueden calcularse aproximadamente, resuelven todos los problemas relativos al movimiento de la columna líquida y al compresor hidráulico, en el primer periodo.

Si prescindimos del rozamiento, las ecuaciones (a) y (b) se convierten en estas dos mas sencillas:

$$v = \sqrt{\frac{2g}{L+x}} \sqrt{x \left(H' - \frac{x}{2} \right) + h \Lambda \log. \frac{h-x}{h}}; \quad (a')$$

$$t = \int_0^x \frac{\sqrt{L+x} dx}{\sqrt{2g} \sqrt{x \left(H' - \frac{x}{2} \right) + h \Lambda \log. \frac{h-x}{h}}}. \quad (b')$$

Para calcular esta última integral bastará dividir el intervalo h en elementos muy pequeños, y aplicar cualquiera de las

:

fórmulas de integración por cuadraturas ; de este modo se podrá fácilmente formar una tabla que dé para diversos valores de x , variando de 5 en 5 centímetros, por ejemplo, los valores correspondientes de t .

Creemos inútil aplicar numéricamente las fórmulas anteriores, pues ninguna dificultad ofrece dicho cálculo, y por otra parte, como ignoramos los valores exactos de los elementos h , H , R , etc., de los compresores hidráulicos de Mont-Cénis, dicha aplicación no podría referirse á estos últimos aparatos, y perdería el interés que quizá de otro modo pudiera tener.

Si queremos conocer la velocidad de la columna líquida al terminar el primer periodo, es decir, en el instante en que se abre la válvula de admisión de aire en la caldera, y el tiempo de dicho periodo, bastará sustituir en el valor de v , $x = \frac{5}{6}h$, y tomar para límites de la integral que dá el valor de t , los valores $x=0$ y $x = -\frac{5}{6}h$. Llamando v_0 y t_0 la velocidad y el tiempo correspondiente á este primer periodo, tendremos para el caso en que se prescinda del rozamiento :

$$v_0 = \sqrt{\frac{2g}{L + \frac{5}{6}h}} \sqrt{\frac{5}{6}h(H' - \frac{5}{12}h) + h \Lambda \log. \frac{4}{6}(a'')} \\ t_0 = \int_0^{\frac{5}{6}h} \sqrt{\frac{L+x}{2g}} \frac{dx}{\sqrt{x(H' - \frac{x}{2}) + h \Lambda \log. \frac{h-x}{h}}}(b'')$$

2.º periodo. Desde el momento en que la válvula de admisión de aire comprimido se abre, la columna líquida ascendente lanza al aire comprimido al depósito S, y comienza el segundo periodo del movimiento.

El efecto producido por dicha columna líquida C, como indicamos en la página 41, se descompondrá en dos partes : 1.ª, comprimirá toda la masa gaseosa comprendida en el tubo y en la caldera hasta elevar su tensión de seis atmósferas á una tensión algo superior á esta : 2.ª, dicha masa gaseosa reobrará

sobre el agua del depósito S, y desalojará cierto volúmen que por el tubo s subirá al depósito F.

A fin de simplificar los cálculos, admitirémos que este último efecto solo tiene lugar al terminar la compresion, y que por lo tanto puede suponerse completamente cerrado el depósito S. Si bien esto equivale á suponer mayores de lo que realmente son las fuerzas resistentes, como el tiempo de la oscilacion es muy corto, el error no podrá ser considerable.

La fuerza motriz será la correspondiente á la columna líquida en movimiento.

Las fuerzas resistentes que apreciaremos serán; la tension del aire y los rozamientos.

La velocidad inicial de la columna líquida, segun se deduce de las fórmulas (a) ó (a''), tendrá por valor v_0 .

Apliquemos á este caso como al periodo precedente el principio de las fuerzas vivas.

La masa de la columna líquida en el instante inicial será:

$$\frac{\rho \pi R^2}{g} \left(L + \frac{5}{6} h \right)$$

y su fuerza viva:

$$\rho \pi R^2 \left(L + \frac{5}{6} h \right) \frac{v_0^2}{g}.$$

La masa en movimiento en un instante cualquiera será igual á:

$$\frac{\rho \pi R^2}{g} (L + x)$$

y su fuerza viva

$$\rho \pi R^2 (L + x) \frac{v^2}{g}.$$

Así, pues, la mitad del incremento de la fuerza viva entre el instante en que principia el segundo periodo, y un instante cualquiera, tendrá la siguiente espresion;

$$\rho \pi R^2 \left((L + x) \frac{v^2}{2g} - \left(L + \frac{5}{6} h \right) \frac{v_0^2}{2g} \right). \quad (5)$$

El trabajo motor de la columna líquida durante este mismo intervalo de tiempo estará representado por el producto del fac-

tor constante $\rho \pi R^2$ por el área de un trapezio cuya altura será $(x - \frac{5}{6}h)$, y cuyas bases paralelas serán respectivamente iguales á $(H - \frac{5}{6}h)$ y $(H - x)$: por consiguiente dicho trabajo tendrá por valor,

$$\rho \pi R^2 (x - \frac{5}{6}h) \left(\frac{H - \frac{5}{6}h + H - x}{2} \right).$$

El trabajo motor total estará dado por la suma de la expresion anterior y de lo correspondiente á la presion atmosférica á lo largo del camino $(x - \frac{5}{6}h)$, ó sea $\rho \pi R^2 A (x - \frac{5}{6}h)$.

Tendremos pues:

$$\text{Trabajo motor} = \rho \pi R^2 (x - \frac{5}{6}h) (H' - \frac{x + \frac{5}{6}h}{2}). \quad (6)$$

El trabajo resistente de la masa de aire encerrada en el depósito S y en el tubo s, se obtendrá por la fórmula general

$$P V \log. \frac{v}{v'}.$$

El volúmen inicial [representado por M el volúmen del aire encerrado en la caldera S] será $M + \frac{1}{6}h \pi R^2$, y su presion será igual á 6 atmósferas, ó sea $6A\rho$. El volúmen de esta misma masa en otro instante tendrá por valor $M + (h-x) \pi R^2$, y por lo tanto tendremos para expresion del trabajo resistente:

$$(M + \frac{1}{6}h \pi R^2) 6A\rho \log. \frac{M + (h-x) \pi R^2}{M + \frac{1}{6}h \pi R^2};$$

ó representando por m la relacion $\frac{M}{\pi R^2}$:

$$6 \pi R^2 A \rho (m + \frac{1}{6}h) \log. \frac{m + (h-x)}{m + \frac{1}{6}h}. \quad (7)$$

Por último el trabajo resistente del rozamiento se espresará por la integral $4 \pi R \frac{\beta}{2g} \int_{\frac{5}{6}h}^x (L+x) v^2 dx$. (8)

Aplicando á las expresiones (5), (6), (7) y (8) el principio de las fuerzas vivas, tendremos por último la ecuacion general

$$\rho \pi R^2 \left[(L+x) \frac{v^2}{2g} - (L + \frac{5}{6} h) \frac{v_0^2}{2g} \right] = \rho \pi R^2 (x - \frac{5}{6} h) (H' - \frac{x + \frac{5}{6} h}{2}) + 6 R^2 A \rho (m + \frac{1}{6} h) \log. \frac{m + (h-x)}{m + \frac{1}{6} h} - 4 \pi R \frac{\beta}{2g} \int_{\frac{5}{6} h}^x (L+x) v^2 dx.$$

Despejando de esta espresion v por un procedimiento análogo al indicado para el primer periodo, é integrando para obtener el valor de t en funcion x , tendrédos dos nuevas fórmulas:

$$v = \Psi(x) \dots \dots (c) \quad \text{y} \quad t = \int_{\frac{5}{6} h}^x \frac{dx}{\Psi(x)} \quad (d)$$

que darán respectivamente: la primera, la velocidad; y la segunda, el tiempo correspondiente al segundo periodo del movimiento.

Conviene observar que las fórmulas (c) (d) solo pueden obtenerse aproximadamente, y que para la segunda será forzoso construir una tabla con los valores de x y t obtenidos, descomponiendo el intervalo $x - \frac{1}{6} h$ en diferencias sumamente pequeñas. (1)

(1) Si M , volúmen del depósito, es muy grande con relacion á la parte $\frac{1}{6} h \pi R^2$ del tubo, las fracciones $\frac{1}{m}$ y $\frac{h-x}{m}$ serán muy pequeñas, y las fórmulas anteriores se simplifican notablemente.

En efecto, dividiendo numerador y denominador del factor $\log. \frac{m+h-x}{m+\frac{1}{6} h}$ por $1 + \frac{h-x}{m}$, resulta: $\log. \frac{1}{1 + \frac{h-x}{m}}$; y sustituyendo á la variable x la variable z , contada desde el punto en que termina la primera parte de la excursion ascendente, el segundo término de la fórmula general del movimiento se reduce por dicha sustitucion, $x = \frac{5}{6} h + z$, á

3.^{er} periodo. Desde el instante en que se abre la válvula de salida A, y la de admision de aire a , la rama AE se convierte, por decirlo así, en un vaso con un orificio en el fondo, y es en extremo sencillo calcular el tiempo t_2 que tardará en salir todo el liquido, y las diferentes circunstancias de esta oscilacion descendente.

Fácil es ahora resolver los diferentes problemas que al principio de esta nota hemos indicado.

1.^o *Velocidad de la columna liquida en un instante cualquiera, ó para una posicion determinada de dicha columna.* Si el instante que se considera corresponde al primer periodo, bastará sustituir en la ecuacion (a) en vez de x el valor correspondiente á dicha posicion, ó al instante que se considera, y, si se prescinde del rozamiento, puede emplearse la fórmula (a'), mucho mas sencilla que la anterior.

Si la posicion de que se trata corresponde al segundo periodo, la ecuacion (c) dará el valor de v correspondiente á dicho valor de x .

2.^o *Tiempo transcurrido entre el instante inicial y el correspondiente á una posicion cualquiera de la columna liquida.* Las ecuaciones (b) ó (b') (segun se prescinda ó no del rozamiento) dan el valor del tiempo t para el primer periodo. La ecuacion (d) dá el valor variable de t correspondiente al segundo periodo, y sumando á dicho valor el de t_0 queda resuelto el problema para todos los instantes que se refieran á este segundo periodo.

3.^o *Tiempo necesario para reducir el aire de la rama ascendente á 6 atmósferas.* El valor t_0 dado por la ecuacion

$$6 \pi R^2 A \rho \left(m + \frac{1}{6} h\right) \log. \frac{1 + \frac{1}{6} \frac{z}{m} - \frac{z}{m}}{1 + \frac{1}{6} \frac{z}{m}} = 6 \pi R^2 A \rho \left(m + \frac{1}{6} h\right) \log. \left(1 - \frac{z}{m + \frac{1}{6} h}\right).$$

Desarrollando el logaritmo, y tomando el primer término del desarrollo, se convierte por último la espresion precedente en esta otra

$$6 \pi R^2 A \rho z,$$

la cual se obtiene directamente, en la hipótesis de una presion constante, multiplicando la presion $6 \pi R^2 A \rho$ por el camino descrito z .

(b'') si se prescinde del rozamiento, ó por su equivalente en el caso contrario, espresa dicho tiempo y dá por lo tanto el valor de esta incógnita.

4.º *Tiempo de la escursion ascendente.* La oscilacion ascendente terminará al reducirse á cero la velocidad de la columna líquida; por lo tanto harémos $v=0$ en la ecuacion (c) y despejarémos x . Esta última cantidad nos dará la amplitud máxima de la oscilacion ascendente, y por lo tanto, si tomamos como límite superior de la ecuacion (d) dicho valor, el valor t_1 que resulte para t espresará la duracion del segundo periodo.

El tiempo total de la escursion será, por consiguiente, igual á $t_0 + t_1$.

5.º *Tiempo de la escursion descendente.* Las fórmulas ordinarias de la salida de los líquidos por orificios practicados en la pared de un vaso, resuelven el problema, y nada diremos pues sobre este punto.

6.º *Tiempo total de un periodo de trabajo.* La suma del tiempo empleado en la escursion ascendente $t_0 + t_1$, y del valor t_2 que á la escursion descendente corresponde, dá el tiempo total de un periodo de trabajo, que representarémos por T.

7.º *Volúmen de aire comprimido en un periodo de trabajo.* Haciendo en la ecuacion (c) $v=0$ y despejando x , tendrémós el espacio recorrido por la columna líquida: sea x_0 este valor límite de x . Ahora bien; el volúmen de aire, á la presion de una atmósfera, contenido, al comenzar la oscilacion de la columna líquida, en la rama ascendente del sifon, era $\pi R^2 h$; el volúmen que en dicha rama queda al terminar el periodo de trabajo que consideramos, es igual á $\pi R^2 (h - x_0)$; pero como dicha masa de aire está reducida próximamente á la presion de seis atmósferas, será $6 \pi R^2 (h - x_0)$ á la de una, y por lo tanto el volúmen de aire inyectado en el depósito en un periodo tendrá por valor $\pi R^2 (h - 6 (h - x_0)) = \pi R^2 (6 x_0 - 5 h)$ á la presion de una atmósfera, ó bien $\pi R^2 (x_0 - \frac{5}{6} h)$ á la presion de seis atmósferas.

8.º *Volúmen de aire comprimido en una hora.* Cono-

ciendo el volúmen $\pi R^2 (x_0 - \frac{5}{6} h)$ de aire á 6 atmósferas comprimido en un periodo de trabajo, y la duracion T de dicho periodo, fácil es el obtener el elemento en cuestion. Supongamos que T está espresado en segundos de tiempo, el volúmen comprimido hasta 6 atmósferas de presion en una hora estará dado por la fórmula

$$\frac{\pi R^2 (x_0 - \frac{5}{6} h)}{T} 3.600.$$

9.º *Volúmen de agua gastado en un periodo de trabajo.* Siendo x_0 el espacio recorrido por la columna líquida en la excursion ascendente, es claro que el volúmen del líquido que saldrá del compresor en la excursion descendente será igual á $\pi R^2 \times x_0$.

10. *Volúmen de agua necesario para comprimir seis decímetros cúbicos de aire atmosférico hasta reducirlos á un decímetro cúbico.* El volúmen de aire que en cada periodo de trabajo se lanza al depósito de aire comprimido, está dado por la espresion $\pi R^2 (6x_0 - 5h)$, y el volúmen de agua necesario para producir este efecto, hemos visto que es igual á $\pi R^2 x_0$; por consiguiente el volúmen de agua necesario para comprimir la unidad de volúmen de aire atmosférico hasta seis atmósferas, será $\frac{x_0}{6x_0 - 5h}$ y por lo tanto cada 6 decímetros cúbicos de aire consumirán un volúmen de agua dado por la fórmula $\frac{6}{1.000} \times \frac{x_0}{6x_0 - 5h}$.

Si la diferencia $h - x_0$ fuese igual á cero, lo cual supone que la columna líquida llega hasta la válvula E, la espresion anterior queda reducida á 0,006, resultado que hubiera podido preverse desde luego.

Hemos espuesto rápidamente la teoría del compresor hidráulico, sin descender á detalles, ni entrar en un estudio profundo de las diferentes circunstancias que presenta el movimiento de la columna oscilante, porque esto nos llevaria muy

léjos, y no debemos dar á esta noticia de los aparatos de Mont-Cénis, otro carácter distinto del que, por su naturaleza y la rapidez con que ha sido hecha, debe tener.

Por esta misma razon, y porque no tenemos las dimensiones exactas de los compresores montados en Bardoneche, no hacemos tampoco ninguna aplicacion práctica de las fórmulas precedentemente establecidas; aplicacion que por otra parte es mas fácil de lo que á primera vista pudiera creerse, siempre que se prescinda del rozamiento, ó que se sustituya al término que lo representa otro aproximado, y del cual haya desaparecido la integral. Introduciendo, pues, estas modificaciones, y construyendo tablas de los valores correspondientes de v , x y t , se puede seguir el movimiento de la columna líquida, y determinar todos los elementos cuyos valores hemos dado precedentemente.

Segunda.—Altura límite del depósito regulador sobre la caldera.

Hemos dicho al principio de esta memoria, que la altura del depósito regulador sobre las calderas de aire comprimido no era arbitraria, y que existia por lo tanto un límite teórico al cual nunca debia llegarse.

Veamos ahora cómo puede calcularse dicho límite.

Es claro que el límite en cuestion no será otro, que el que resulte de suponer que la presion del agua del depósito F, (fig. 49), sobre la válvula E de admision de aire comprimido, es tan considerable, que el aire de la rama AE destruye el movimiento de la columna líquida oscilante antes de adquirir la tension necesaria para abrir dicha válvula E. Supongamos, pues, que el tubo AE está completamente cerrado por su parte superior, y si calculamos la tension del aire encerrado en dicha rama del sifon, en el instante en que la velocidad del agua es cero, del valor de dicha tension podrémos deducir el límite superior de la columna líquida s.

:

Prescindamos de los rozamientos, para que el cálculo que nos proponemos hacer sea mas sencillo, é igualemos á cero el valor de la velocidad dado por la fórmula (a'); tendrédmos, pues:

$$x \left(H + A - \frac{x}{2} \right) + h A \log. \frac{h-x}{h} = 0.$$

De esta ecuacion deducirédmos el valor de x , y la relacion $\frac{h}{h-x}$, nos dará la tension del aire encerrado en la rama ascendente del sifon, espresado en atmósferas. Reduciendo esta tension á altura de agua tendrédmos el límite buscado.

Supongamos, para fijar las ideas, que las cantidades H , h y A tienen los siguientes valores numéricos:

$$H = 24^m.$$

$$h = 4^m.$$

$$A = 10^m, 33.$$

La ecuacion precedente se trasformará en esta otra :

$$x \left(54,33 - \frac{x}{2} \right) + 4 \times 10,33 \log. \frac{4-x}{4} = 0.$$

Tomando por incógnita la cantidad $\frac{4}{4-x} = y$ que mide en atmósferas la presion límite, tendrédmos :

$$(y-1) (16,16 y + 1) = 5,16 y^2 \log. y$$

de la cual por sustituciones sucesivas deducirédmos el valor de y .

La altura 51 metros del depósito regulador sobre las calderas de aire comprimido, no llega á este límite.

Tercera.—Aparato para la compresion del aire inventado por Mr. Minotto.

Mr. Minotto ha modificado el ariete hidráulico, á fin de aprovechar la fuerza viva de la columna oscilante en la compresion del aire, y juzga preferible este sistema al de los Ingenieros piamonteses, porque siendo el coeficiente útil del ariete hidráulico muy superior al de los compresores de Mont-Cénis, pues se eleva á veces á 0,92 del trabajo motor, cree dicho ingeniero que si se consigue emplear su accion en comprimir

aire, en vez de utilizarlo para elevar agua, se obtendrá un resultado mucho mas ventajoso que el que se obtiene con los citados aparatos.

La figura 51 indica el sistema que dicho ingeniero propone.

A representa un tubo horizontal, cuyas dimensiones varían con la altura de la caída, pero que tendrá por lo menos 10 ó 12 metros de longitud.

Este tubo se encorva en uno de sus extremos, se prolonga despues verticalmente, y recibe por su parte superior el agua de la caída: por el lado opuesto termina en una rama vertical muy corta, B.

B rama vertical en cuya parte superior hay una válvula.

a válvula para la admision de aire comprimido.

C depósito de aire comprimido.

b válvula situada al extremo del tubo horizontal, y que detiene la marcha de la columna líquida.

c resorte de la válvula b.

Todas las piezas descritas hasta aquí son idénticas á las de un ariete hidráulico ordinario, y si en c se estableciese el sistema que está indicado de puntos, podria emplearse dicho aparato para la elevacion del agua. Veamos ahora qué piezas es preciso agregar á este sistema, para obtener fácilmente la compression del aire.

El tubo A continúa horizontalmente en una estension de 10 á 12 metros y termina en E.

Inmediata á la válvula b se establece una capacidad F con la cual comunica el tubo D por medio de una pequeña abertura ú orificio d, y en dicha capacidad se fijan dos válvulas e y g; la primera que pone en comunicacion el espacio F con el tubo B; la segunda que pone en comunicacion dicho espacio con la atmósfera.

La válvula e se mantiene abierta por un resorte f, y la g se mantiene cerrada por un contrapeso h.

Hé aquí cómo funciona el aparato.

La columna líquida en movimiento corre por la rama verti-

cal, sigue la direccion que indica la flecha, en el tubo A, y sale por la válvula *b*; mas en virtud del choque de dicha columna contra la válvula *b*, se cierra esta á los pocos instantes de haber comenzado el movimiento. No hallando la masa líquida otra salida que el tubo B, se lanza por este, cierra de golpe la válvula *e*, comprime el aire que halla en la rama B, abre la válvula *a*, y arroja al depósito C el aire comprimido. Cuando la fuerza viva de la columna líquida se anula por la resistencia del aire, las válvulas *e* y *b* se abren por la tension de los resortes *c* y *f*; el aire del depósito F pasa al tubo B, el agua sale de nuevo por la válvula *b*, y comienza otra oscilacion idéntica á la que acabamos de explicar.

Finalmente, en cada uno de estos periodos de movimiento, al cerrarse la válvula *b*, la columna líquida D continúa marchando y produce una aspiracion en F, en virtud de la cual se abre la válvula *g* bajo la presion atmosférica y se introduce en el depósito F una nueva cantidad de aire.

A fin de impedir en lo posible los violentos choques de la válvula *b* contra su asiento, propone Mr. Minotto el siguiente sistema.

En prolongacion del eje de la válvula *b* se monta un cilindro *m*, el cual entra en otro cilindro hueco *n* unido invariablemente al tubo y cerrado por uno de sus extremos.

El diámetro de este segundo cilindro es dos milímetros mas grande que el del cilindro *m*.

Veamos ahora cómo, por medio de esta disposicion, se evitan en parte los choques de la válvula *b*.

Al cerrarse dicha válvula, el cilindro *m* oprime fuertemente el agua contenida en el cilindro *n*, y la resistencia de dicha masa de agua, mientras sale por varios orificios practicados en el extremo *n'*, destruye una parte del choque y da suavidad á los movimientos de la válvula.

No nos detendremos en examinar el sistema anterior, aun cuando debemos advertir que ocurren algunas dudas sobre su eficacia, y principalmente en la parte que se refiere al paso del aire del depósito F al tubo B.

Sin embargo, hemos creído oportuno dar esta ligera noticia del aparato de Mr. Minotto, no solo para que se tenga una idea general de cuanto se ha dicho relativamente á la perforacion de Mont-Cénis en las publicaciones extranjeras, sino porque aunque hoy, y tal como se presenta, no nos parece aceptable, tal vez sirva de base á nuevas investigaciones, y convenientemente modificado pueda ofrecer ventajas reales y positivas para la compresion del aire.

Cuarta.—Cálculo del diámetro de los sifones.

Supondrémos, para simplificar esta investigacion, que se prescinde del rozamiento del agua con el tubo, y admitirémos que se han fijado los valores de H y h en las fórmulas de la nota primera. Aplicando el método que allí espusimos, se vé desde luego, que si se prescinde del rozamiento, las espresiones que dan los valores de la velocidad y del espacio en funcion del tiempo, son independientes del diámetro del sifon, y que por lo tanto podrémos, sin tener en cuenta dicho diámetro, calcular los siguientes elementos:

- 1.º El espacio x_0 recorrido por la columna líquida.
- 2.º El tiempo total T de una oscilacion.

Sean: V el volúmen de aire reducido á seis atmósferas que se desea inyectar en las calderas cada 24 horas, y R el rádio desconocido del sifon.

El volúmen condensado en la caldera en una oscilacion, es igual, segun hemos visto en la pág. 158, á

$$\pi R^2 \left(x_0 - \frac{5}{6} h \right)$$

á la presion de seis atmósferas; y por lo tanto, en 24 horas (suponiendo que el tiempo T se espresa en horas), el volúmen de aire comprimido estará dado por la espresion,

$$\pi R^2 \left(x_0 - \frac{5}{6} h \right) \frac{24}{T}.$$

Igualando la espresion anterior á V tendrémos:

$\pi R^2 (x_0 - \frac{5}{6} h) \frac{24}{T} = V$, de donde podremos deducir el valor de R .

Si dicho valor resultase demasiado grande podrian establecerse, como se ha hecho en Mont-Cénis, varios compresores, y representando por n su número, tendríamos para determinar una de las dos incógnitas n ó R la relacion

$$n \pi R^2 (x_0 - \frac{5}{6} h) \frac{24}{T} = V.$$

El valor de R así determinado puede servir de base para un nuevo cálculo en que se aprecie la influencia del rozamiento.

Quinta. — Perforador de Mr. Bartlet.

Aunque no hemos podido adquirir la descripcion del perforador de Mr. Bartlet, del informe de la comision encargada de examinar el sistema propuesto por los ingenieros piamonteses, se deduce cuál es el principio fundamental en que estriba dicho aparato.

El perforador de Mr. Bartlet es, por decirlo así, una pequeña máquina de vapor locomóvil, de accion directa y compuesta de dos cilindros horizontales A , B , (figura 52), cuyos ejes coinciden.

El primero de estos cilindros A recibe el vapor ó el aire comprimido, y constituye el cilindro motor: su émbolo a toma bajo la accion de la fuerza motriz un movimiento alternativo rectilíneo, que se trasmite al útil ó barrena, como verémos en breve.

En el segundo cilindro B se mueven dos émbolos b , b' separados por una pequeña capa de aire C . El émbolo b se une al émbolo a del cilindro de vapor por medio de la varilla cd , y se mueve en el cilindro B con un movimiento alternativo rectilíneo. El émbolo b' va unido á una varilla ef , á cuyo extremo f se ajusta el útil que ha de operar la perforacion.

Cuando el émbolo a , oprimido por el vapor, avanza hácia la

derecha, comunica un movimiento idéntico al émbolo b ; este último comprime la capa de aire C , la cual á su vez reobra sobre el émbolo b' y le hace marchar en el mismo sentido que el émbolo del cilindro de vapor.

Cuando este último retrocede, retrocede tambien el émbolo b ; el aire C se dilata, la presion atmosférica actúa sobre el émbolo b' , y este y el útil caminan de derecha á izquierda.

Asi, pues, el movimiento alternativo del émbolo a se transmite al émbolo b' ; pero no directamente sino por el intermedio de la capa de aire C , lo cual da dulzura á los movimientos y evita los choques.

Por medio de algunas válvulas, convenientemente dispuestas, se regulariza la tension del aire C , y se introduce el necesario para compensar las pérdidas, que en virtud del trabajo del mecanismo se originan.

La varilla ef que sostiene el útil, al mismo tiempo que oscila, recibe un movimiento continuo de rotacion, que es una de las condiciones que, segun vimos, debe llenar todo perforador.

Los golpes del útil se suceden con tal rapidéz, que segun de las esperiencias hechas con este perforador se deduce, choca contra la roca 200 ó 300 veces por minuto.

El peso de la parte ef y del émbolo b' es de $16^k,80$.

La carrera del émbolo es algo inferior á 0,2.

El número de golpes por segundo es 4,45.

La velocidad media es algo inferior á 1,78.

Y finalmente, el trabajo comunicado á la varilla ef que sostiene el útil es $\frac{1}{14}$ á lo mas del contenido en el aire que actúa como fuerza motriz.

Las modificaciones introducidas en el perforador de Monsieur Bartlet por los ingenieros piamonteses, consisten:

1.º En haber reducido los dos cilindros A, B , á uno solo, con un solo émbolo.

2.º En hacer que dicho émbolo se mueva entre dos capas de aire situadas en los dos extremos del cilindro, y que contribuyen á amortignar los choques.

3.º En haber disminuido el peso y el volúmen de los aparatos.

4.º En hacer que el perforador avance á medida que avanza la perforacion y que se regularice por sí mismo.

5.º En disponer el aparato de modo que pueda trabajar en todas direcciones.

Sesta.— Coste del túnel.

Del discurso pronunciado por el General Menabrea en la Cámara de Diputados, tomamos las siguientes noticias relativas al coste del túnel:

»La línea de Susa á Modane tiene una longitud de 48^k,59, »de los que 12^k,59 corresponden al túnel.

»El coste de dicha seccion se supone que será el siguiente:

Francos.

»Líneas de union desde Susa á la estremidad	
»meridional de la galería, y de Modane á	
»la boca setentrional.	
14.000,000	
»Galería.. . . .	
20.600,000	
»Colocacion de la via, etc.	
3.670,000	
»Gastos imprevistos.	
2.930,000	
TOTAL.	41.600,000

»De donde resultan 1.635,000 francos por kilómetro para la »galería, y para las vias de union 400.000 frs. por kilómetro.

»El término medio de la seccion es de 856.000 francos por »kilómetro.

»El coste de construccion del túnel de Mont-Cénis no puede »compararse con el de otros túneles en que se han presentado »dificultades que probablemente no se presentarán en el de »los Alpes.

»Así en las galerías de Giovi y de Valence no se podia es-

»traer, por decirlo así, un solo metro cúbico de tierra sin
»apuntalar y revestir el terreno, lo que no sucederá con el tú-
»nel de los Alpes, que ha de atravesar rocas duras y resisten-
»tes, en las que serán inútiles los apuntalamientos.

»Si se examina el cuadro general del coste de galerías eje-
»cutadas en diferentes paises, se vé que el precio varia de un
»millon de francos á tres millones doscientos mil francos kiló-
»metro; por lo tanto tomando un término medio, ó sea un mi-
»llon seiscientos mil francos, creo que el resultado se aproxi-
»mará bastante á la verdad; y debe observarse que si los nue-
»vos métodos de perforacion no disminuirán probablemente el
»coste, tampoco lo aumentarán, y que aparte de esto, realiza-
»rán una economía en el tiempo necesario para la construccion.

APENDICE

A LA MEMORIA DEL **TUNEL DE LOS ALPES,**

ESCRITO EN OCTUBRE DE 1863.

APÉNDICE.⁽¹⁾

DICIMOS en la página 16 que lo escabroso del terreno habia hecho imposible el establecimiento del eje del túnel en la parte superior de la montaña, y debemos aquí corregir esta involuntaria equivocacion. En la noticia sobre el túnel de los Alpes publicada por Mr. Comte en los Anales de puentes y calzadas, leemos lo siguiente: «El trazado de la línea sobre el terreno se ha verificado con toda la precision posible, estableciendo tres puntos fijos de referencia: uno de ellos sobre la cresta de la montaña; los otros dos, que son visibles desde el primero, sobre las vertientes del Arc y de Rochemolle, opuestas á las bocas del túnel. Una vez establecidos invariablemente estos tres puntos, se han establecido tambien las dos bocas del túnel, y dos observatorios colocados enfrente de dichas bocas, y en prolongacion de las líneas de pendiente de la galería. En estos observatorios se han montado dos anteojos para comprobar constantemente la direccion del subterráneo.

(1) Las principales memorias que hemos consultado para redactar este apéndice son las siguientes: la de Mr. Comte, publicada en los Anales de puentes y calzadas; la de Mr. Oppermann, publicada en el *Portefeuille economique* del mismo autor, y por último, una obra especial de Mr. A. Devillez.

»La direccion del eje del túnel, dice un artículo de Mr. Oppermann, está indicada en el exterior por una línea de jalones colocados en las dos vertientes de la montaña sobre una faja del terreno, que se ha limpiado de cuantos objetos pudieran ocultarlos á la vista. Desde cada uno de los observatorios se descubre y se puede recorrer con el anteojo, el jalon de la parte superior, la fila de jalones de la vertiente y el fondo del túnel. Para comprobar la direccion de este en un instante cualquiera, basta colocar una lámpara de reflector en el fondo de la galería.»

Para establecer la alineacion de jalones, se construyó, pues, un observatorio en la divisoria, y por medio de un teodolito se fijaron puntos de referencia en las dos vertientes opuestas á las bocas del túnel, y otros varios sobre las dos faldas de la montaña.

Los dos observatorios extremos están en la prolongacion de las dos líneas de pendiente del túnel, y un anteojo sólidamente unido á dos montantes verticales dá el medio de rectificar las alineaciones en cualquier momento. La direccion de los anteojos se comprueba frecuentemente por medio de varias marcas ó puntos fijos de referencia cuidadosamente conservados.

III.

El eje del túnel comprende tres alineaciones, á saber :

En el lado de Bardoneche una curva de 500 metros de rádio.

En el centro de la galería una alineacion recta de 11.580 metros próximamente.

En el lado de Modane una curva de 300 metros de rádio.

La alineacion central se prolonga por una y otra parte hasta su encuentro con las dos vertientes de la montaña, y esta es la galería que actualmente se practica, y á la cual han de unirse en sus dos extremos las dos alineaciones curvas antes indicadas.

De esta alineacion recta se abandonarán, una vez terminada la obra, 250 metros en el extremo de Bardoneche, y 580 metros en la parte de Modane.

El eje del túnel forma un ángulo de 19° con el meridiano terrestre, y 3° con el meridiano magnético.

III.

La entrada del túnel en la parte de Francia está	
sobre el nivel del mar á.	1202 ^m ,82
La correspondiente á la parte de Italia á.	1355 ^m ,58
Diferencia.	152 ^m ,56

Esta diferencia se salva con dos pendientes opuestas :

La 1. ^a de 0,0222 en una longitud de 6.110 me-	
tros, cuya altura total será.	135 ^m ,64
La 2. ^a de 0,0005 en una longitud de 6.110 me-	
tros, cuya altura será.	3 ^m ,06
Diferencia.	132 ^m ,58

El túnel pasa á 1617^m,58 bajo la cresta de la montaña.

La fig. 55 representa un corte longitudinal de la montaña y del túnel. Está tomada del artículo de Mr. Oppermann, y algunas anotaciones difieren de las precedentes, que son las dadas por Mr. Comte en los Anales de puentes y calzadas.

Tambien se observa una diferencia notable entre la pendiente 0,0005 y la que supusimos, segun parece equivocadamente, en la página 18.

IV.

Del artículo de Mr. Oppermann tomamos las siguientes noticias históricas sobre el empleo del aire como fuerza motriz.

Mr. Colladon en 1855 demostró que podia emplearse el aire comprimido, tanto como motor para poner en movimiento los aparatos de perforacion, como para ventilar la galería, y

aun presentó proposiciones para la ejecucion de la obra, aunque sin precisar el sistema que hubiera de seguirse.

El uso del aire como motor no era, sin embargo, una idea completamente nueva: ya en 1822 se habian concedido varios privilegios de invencion en Francia é Inglaterra, y las invenciones y ensayos de MM. Andraud y Julienne, verificados en 1848 y 1855, habian dado una gran importancia práctica á este pensamiento.

El perforador de Mr. Bartlett hizo dar un nuevo paso hácia la solucion del problema; y aplicando á dicho aparato el motor propuesto por Mr. Colladon, resultó un nuevo sistema de perforacion, el cual á su vez perfeccionado posteriormente por los ingenieros piamonteses Sommeilleur, Grandis y Graton, constituye el sistema que actualmente se sigue en la ejecucion del túnel.

V.

La máquina primitiva de Mr. Bartlett era una verdadera locomóvil, puesta en movimiento por la fuerza expansiva del vapor; pero su empleo en el interior del túnel presentaba grandes dificultades: no solo exigiria para la alimentacion del fuego de la caldera una masa considerable de aire, sino que el humo producido por la combustion viciaria necesariamente la atmósfera, y haria difícil ó imposible la permanencia de los obreros en el interior del túnel.

Por otra parte, el establecimiento de una máquina fija en el exterior, y la conduccion del vapor hasta el fondo de la galería de ataque, ya difícil y dispendioso al comenzar la perforacion, seria absolutamente imposible cuando esta llegase muy adentro de la montaña. Tales fueron las consideraciones por las que ha sido de todo punto indispensable la modificacion del perforador de Mr. Bartlett.

VI.

Para completar lo dicho en las páginas 24 y 25 tomamos de los artículos ya citados de Mr. Comte y Mr. Oppermann, así co-

mo de la obra de Mr. A. Devillez titulada *Des travaux de percement du tunnel sous les Alpes* las siguientes noticias.

Lado de Bardoneche. La galería principal abierta en la roca tiene por término medio un ancho de 9^m,60 y 8^m,46 de altura, y está sólidamente revestida en toda su longitud, como puede verse en la fig. 55. Con estas dimensiones resulta un área de 72 metros para la sección trasversal de la galería, dato que concuerda con lo que digimos en las páginas 24 y 25, así como en las 119 y 120. La sección trasversal de la bóveda, figuras 54 y 55 está formada por un semicírculo de 8 metros de diámetro y por dos arcos de 10^m,40 de radio que constituyen los paramentos interiores de los muros. La altura de la bóveda sobre la base *b b'* es próximamente 6 metros.

Segun Mr. Devillez la sección trasversal del túnel, si bien concuerda en sus dimensiones principales con la que acabamos de describir, difiere radicalmente en su forma, pues supone compuesta dicha sección por siete arcos de círculo cuyos radios son respectivamente 12^m,80 ; 6^m,30 ; 4^m,53 ; 3^m,15 ; 4^m,53 ; 6^m,30; y 12^m,80.

El ancho del túnel á la altura de los carriles es de 7^m,60, de los cuales 6^m,20 corresponden á las vias y entrevías, y los 1^m,40 restantes á dos andenes laterales de 0^m,70 de anchura cada uno.

La altura sobre los carriles es de 6 metros.

Un canal, ó gran cuneta, practicada entre las dos vias servirá para el desagüe de las filtraciones, tanto mientras dure la perforacion, como despues de terminada la obra.

En un principio se proyectó con un ancho de 0^m,60 y una altura de 0^m,40. Posteriormente á fin de tener espacio bastante para colocar á lo largo de dicho canal, y en su interior, los tubos de aire y de gas, se aumentaron sus dos dimensiones hasta 1^m,20 y 1^m respectivamente.

El 15 de setiembre del año anterior se verificó en la pequeña galería un desprendimiento que, aunque no de mucha consideracion, la obstruyó por completo, dejando encerrados en el fondo á mas de 60 obreros. Afortunadamente uno de ellos

tuvo la feliz idea de aprovechar como salida el canal de desagüe, y por él pudieron salvarse todos ellos con la mayor facilidad.

Mas adelante verémos el partido que en concepto de algunos ingenieros puede sacarse de este canal para la ventilacion del túnel.

Los muros que sostienen la bóveda se han construido de sillería, y con un espesor que varia de 0^m,50 á 1^m,00: la bóveda es de fábrica de ladrillo, siendo las dimensiones de cada uno 0^m,26, 0^m,125 y 0^m,06: su espesor es de dos ladrillos y medio.

Tanto en los datos numéricos anteriores, como en los que mas adelante presentaremos, se notan algunas diferencias si de los dados por unos autores se pasa á los consignados por otros; pero á decir verdad son las mas de ellas insignificantes, y no creemos necesario hacerlas constar en detalle.

Lado de Modane. Segun Mr. Devillez esta parte de la galería se ha construido como la correspondiente al lado de Bardoneche, disminuyendo sin embargo la altura de la bóveda en 0^m,30 y modificando la curvatura de la parte superior.

Galería de ataque. La galería de ataque tiene próximamente 3 metros de altura por un ancho de 4 metros. (Véanse las figuras 54, 55, 56 y 57.)

En la parte de Bardoneche se ha practicado al nivel del suelo del túnel; pero en el lado de Modane se comenzó á abrir en la parte superior de la galería principal, cortando la roca en forma de plano inclinado (strauss) para unir los suelos de ambas galerías. Posteriormente se ha modificado esta disposicion y se abrirá como en el lado de Bardoneche, es decir, en la parte inferior del túnel.

Tanto en uno como en otro lado está cortada la galería de ataque por un plano inclinado, disposicion que facilita el ensanche de la pequeña galería.

Las dimensiones de esta, como acabamos de ver, son superiores á las que supusimos en la pág. 111.

VII.

Efecto útil de los compresores. En cuanto á la determinacion del efecto útil de los compresores, son varias las cifras consignadas en las noticias y memorias que tenemos á la vista.

Mr. Devillez, que es quien trata este punto con mas estension, obtiene los siguientes resultados.

Si representamos por ω el área del sifon, por h la altura de la válvula de admision de aire en el depósito sobre la de desagüe, y por P la presion en dicho depósito, tendrémós (pág. 34) que el trabajo necesario para comprimir el aire contenido en la rama mas corta del sifon hasta reducirlo á $\frac{1}{x}$ de su volúmen, será:

$$\omega h \cdot \frac{P}{x} \log. x \cdot 2,5026.$$

Reducido ya el aire á $\frac{1}{x}$ de su volúmen, y abierta la válvula de admision, la presion resistente puede suponerse constante, y el trabajo del aire vendrá dado por la fórmula

$$\omega \cdot \frac{h}{x} P.$$

El trabajo total tendrá por valor

$$\frac{\omega h}{x} \cdot P (1 + \log. x \cdot 2,5026).$$

La presion atmosférica actuando sobre la columna líquida contribuye por el intermedio de esta á la compresion del aire, desarrollando un trabajo igual á

$$\omega h P',$$

representando por P' dicha presion atmosférica.

La columna líquida solo tendrá que desarrollar para la compresion del aire un trabajo cuyo valor será:

$$\frac{\omega h}{x} P (1 + \log. x \cdot 2,5026) - \omega h P',$$

ó representando ωh por V

$$V \left[\frac{P}{x} (1 + \log. x \cdot 2,5026) - P' \right]: \quad (a)$$

tal es la fórmula dada por Mr. Devillez.

En los compresores de Bardoneche la tension del aire en los depósitos es próximamente de 5 atmósferas efectivas, ó 6 atmósferas absolutas; y como el diámetro del sifon es 0^m,62 y la altura h es igual á 4^m,50, el volúmen de agua V gastado en cada escursion del aparato será igual á

$$\frac{1}{4} \pi \cdot 0,62^2 \times 4,5 = 1^{\text{m}^3},298.$$

La fórmula (a) se convertirá, poniendo en ella

$$V=1,298$$

$$P=6 \times 10333=61998^k$$

$$P'=10333^k$$

$$\text{y } x=6,$$

en

$$1,298 \left[\frac{61998}{6} (1 + \log. 6 \times 2,3026) - 10333 \right] = 24031 \text{ kilográ-}$$

metros que representan el trabajo desarrollado por la columna líquida del compresor.

El volúmen 1^m³,298 de agua cayendo de 26 metros de altura representa un trabajo de

$$1298^k \times 26^{\text{m}} = 33748 \text{ kilográmetros.}$$

El coeficiente de efecto útil será por consiguiente

$$\frac{24031}{33748} = 0,712.$$

Este coeficiente es puramente teórico: Mr. Devillez indica las siguientes causas que tienden á reducir su valor:

1.^a La válvula de admision no cierra por completo la entrada en el tubo; el agua sale continuamente, y el volúmen gastado en cada escursion es superior por esta causa á 1^m³,298.

2.^a Para vencer el peso y la inercia de la válvula del depósito y la presion interior, el aire en el tubo necesita á veces llegar hasta 7 atmósferas, lo cual exige un aumento de trabajo motor.

3.^a La temperatura del aire se eleva rápidamente al comprimirse, su tension aumenta y con ella el trabajo resistente.

4.^a La columna líquida pasa unas veces de la válvula del depósito y en él se pierde una parte del agua; otras no llega

hasta dicha válvula, y queda en el tubo cierta masa de aire comprimido, que recobra en la escursion descendente su presión inicial.

Mr. Oppermann dá para el coeficiente de efecto útil efectivo 0,56.

Mr. Comte, 0,77.

En cada escursion de la columna líquida se condensan en los depósitos de aire comprimido 1^{m^3} ,298 á una atmósfera, ó 0^{m^3} ,2163 á 6 atmósferas.

Cada compresor, segun Mr. Devillez, efectúa 2,5 escursiones por minuto, y si bien podría funcionar con mas rapidez, se ha reducido algo el número de oscilaciones para la conservacion del mecanismo.

Cinco compresores condensan por minuto 16^{m^3} ,225 de aire á una atmósfera ó 2^{m^3} ,704 á 6 atmósferas.

Los diez compresores pueden condensar 32^{m^3} ,450 por minuto á una atmósfera, y en dos horas 3794^{m^3} .

Esta cifra es muy inferior á la que supusimos en las páginas 49 y 117 con arreglo á los datos de la comision.

Debe notarse, por lo tanto, que el cálculo de la página 117 cae por su base, y que la objecion de Mr. Flachet adquiere nueva fuerza.

A ser ciertos estos nuevos datos, los compresores son insuficientes para la ventilacion del túnel.

Sin embargo, los datos anteriores difieren radicalmente de los que Mr. Comte presenta.

«La marcha actual de los compresores, dice este ingeniero, es de 3 escursiones por minuto, lo que dá por día y por cada compresor 5283 metros cúbicos, ó bien 860,5 metros cúbicos á 6 atmósferas, y para los 10 compresores 52830 metros á 1 atmósfera, ó bien 8805 metros cúbicos á 6 atmósferas.

«La marcha de los aparatos es lenta y segura, y puede aumentarse, sin temor ni duda de ningun género, hasta 4 escursiones por minuto, lo que daría para 10 compresores en 24 horas, 704445 metros cúbicos, ó bien 11746 metros cúbicos á 6 atmósferas.»

Este último resultado se aproxima bastante á la cifra que la comision supuso, y que hemos consignado en las páginas 49 y 117.

La fórmula de Mr. Devillez supone que desde el instante en que se abre la válvula de admision del depósito, hasta el instante en que termina la escursion, la presion es constante, lo cual en rigor no se verificará.

Dos hipótesis pueden hacerse para calcular el trabajo resistente en este segundo periodo, si no se quiere admitir la de Mr. Devillez: ó bien que la presion en el depósito aumenta gradualmente (véase la pág. 194), ó que cierta masa, ya de agua, ya de aire comprimido, sale del depósito (pág. 40): lo primero se verifica al llenarse el depósito; lo segundo en un instante cualquiera de la operacion.

Sin embargo, la hipótesis de Mr. Devillez es en nuestro concepto aceptable y conduce á resultados suficientemente exactos.

VIII.

Marcha del aire comprimido por la cañería. Las fórmulas de Mr. D'Aubuisson relativas al movimiento del aire en las cañerías, fórmulas obtenidas en la hipótesis de que la tension del aire solo escede en algunos centímetros de mercurio á la presion atmosférica, ha sido comprobada por las esperiencias de Mr. Devillez hechas sobre la cañería de 1700 metros de desarrollo que conduce el aire comprimido al fondo del túnel.

La pérdida de tension segun la fórmula de Mr. D'Aubuisson es de 0^m,157 de mercurio.

La determinada directamente por medio de un manómetro se eleva á 0^m,154.

El aire desde el depósito á los perforadores pasaba de unas 5,703 atmósferas de tension á 5,5 atmósferas.

El volúmen de aire consumido era 2000 litros (á la presion 5,5 atmósferas.)

La pérdida de presión calculada con estos datos, según la tabla de la página 53, resulta mucho mayor que la anterior, como debía esperarse, toda vez que las experiencias en que dicha tabla se funda fueron hechas en circunstancias sumamente desfavorables para el libre movimiento del aire comprimido. (Pág. 51.)

IX.

Digimos en la página 57 que los depósitos de agua de los compresores se alimentaban por medio de un canal de derivación que partía del torrente de Mélezet. Fácilmente hubieran podido aprovecharse las grandes masas de agua que pasan inmediatas á las mismas bocas del túnel; mas presentan el grave inconveniente de helarse en el invierno, y por esta causa ha sido indispensable acudir á dicho torrente, cuyas aguas son abundantes y nunca se congelan.

En cuanto al caudal de agua que lleva, varios y hasta cierto punto contradictorios, son los datos que tenemos á la vista.

Según Mr. Oppermann lleva el torrente de Mélezet como término medio $0^{\text{m}^3},060$ por segundo, si bien, dice, puede aumentarse este volumen hasta $0^{\text{m}^3},24$.

Según Mr. Comte el caudal de agua de dicha corriente es $1^{\text{m}^3},5$ por segundo.

Mr. Devillez no consigna este dato en su memoria.

En la página 57 con arreglo á los datos que se nos suministraron, supusimos que el volumen de agua que se conducía á los compresores era de $2^{\text{m}^3},00$.

La longitud del canal según Mr. Comte es de 5 kilómetros. (Véase la pág. 58.)

X.

Principales dimensiones de los compresores. Conocida la diferencia de nivel entre el depósito superior y la válvula de desagüe, así como la presión del aire en dicho depósito, deben calcularse los dos elementos siguientes:

1.º La altura de la rama mas corta del compresor, que designaremos por h .

2.º El diámetro de cada sifon y el número de compresores.

La longitud h se calcula de modo que al llegar la columna líquida á la válvula del depósito, la velocidad de dicha columna líquida sea nula.

Basta para ello igualar los trabajos motores y resistentes en una semi-oscilacion.

Admitiendo las notaciones de la página 126, y representando por n la relacion entre la presion del aire en el depósito y la presion atmosférica, tendremos:

$$\rho \omega h \left(H - \frac{h}{2} \right) + \rho \omega A h = \rho \omega h A \log. n \times 2,303 + 6 \rho \omega A \cdot \frac{h}{6},$$

de donde

$$h = 2 H - 2 A \cdot \log. n \times 2,303. \quad (1)$$

Esta fórmula dá para h un valor muy superior al verdadero.

La razon fácilmente se comprende. No tan solo hemos prescindido de las resistencias pasivas, debidas á rozamientos, codos, estrechamientos, inercia de las válvulas, etc., sino que no hemos tenido en cuenta una circunstancia importantísima. La temperatura del aire al comprimirse se eleva, y su tension, y el trabajo resistente que desarrolla, son muy superiores á los que hemos supuesto fundándonos en la ley de Mariotte.

Si al calcular el trabajo resistente del aire, en vez de partir de la fórmula

$$\frac{p}{P} = \frac{v}{V}, \quad (\text{pág. 54}),$$

hubiéramos partido de la espresion

$$\frac{p}{P} = \left(\frac{v}{V} \right)^k,$$

en la cual $k=1,41$ representa la relacion de la *capacidad calorifica del aire bajo presion constante* á la *capacidad calorifica bajo volumen constante*, el valor de h se hubiera determinado por la fórmula

$$h = 2 H - 2 A \cdot \frac{1 - \frac{1}{k}}{k(n^{\frac{1}{k}} - 1)}. \quad (2)$$

La diferencia entre las espresiones (1) y (2) consiste únicamente en el factor que multiplica á 2 A.

La segunda de estas espresiones ha sido dada por Mr. P. de la Saint-Robert en una notable memoria, publicada en los Anales de Minas, sobre los compresores de Mont-Cénis.

Fácilmente se deduce este valor de h , teniendo en cuenta el calórico desarrollado por la compresion.

El trabajo resistente del aire al comprimirse es igual á

$$\int p \omega dx.$$

Poniendo por ωdx su igual dv , ó sea la diferencial del volúmen, y por p su valor deducido de $\frac{p}{p'} = \left(\frac{v}{v'}\right)^k$, espresion dada por Laplace, y á que se ha llegado tambien, aunque partiendo de principios opuestos, en la teoría moderna del calor, tendrémos:

$$\int p \left(\frac{v}{v'}\right)^k dv = P v'^k \int \frac{dv}{v^k}.$$

Integrando entre el volúmen inicial V y el volúmen final V' , y tomando el trabajo desarrollado con signo positivo, resultará:

$$\begin{aligned} -P v'^k \int_V^{V'} \frac{dv}{v^k} &= -P v'^k \left[\frac{v^{-k+1}}{-k+1} \right]_V^{V'} \\ &= P v'^k \frac{v'^{-k+1} - V^{-k+1}}{k-1} = P V \frac{\left(\frac{V'}{V}\right)^{-k+1} - 1}{k-1} \end{aligned}$$

Finalmente, sustituyendo á la relacion $\frac{V'}{V}$ su igual $\left(\frac{p}{p'}\right)^{\frac{1}{k}} = n - \frac{1}{k}$, el trabajo resistente del aire en el periodo de la compresion será:

$$P V \frac{n - \frac{1}{k} - 1}{k-1} ;$$

ó sustituyendo $P = A p$, y $V = \omega h$,

:

$$\rho A \omega h \frac{1 - \frac{1}{k}}{n \frac{1}{k} - 1}$$

Desde el momento en que se abre la válvula de admision del depósito, la presion es constante é igual á $\rho n A$. Para obtener el trabajo resistente en este periodo, basta determinar el camino recorrido por la columna líquida bajo dicha presion $\rho n A$.

Poniendo en la ecuacion general $\frac{p}{P} = \left(\frac{v}{v}\right)^k$ por P y V la presion ρA , y el volúmen ωh del aire al comenzar la compresion, y por p su presion $\rho n A$ al abrirse la válvula del depósito, el valor que obtengamos para v dividido por ω nos dará el camino recorrido por la columna líquida en este periodo.

Tendremos, pues, $\frac{\rho n A}{\rho A} = \left(\frac{\omega h}{v}\right)^k$, ó bien

$$\frac{v}{\omega} = h \frac{1 - \frac{1}{k}}{\frac{1}{k}}$$

de donde se deduce el trabajo resistente

$$\rho h \omega A n \frac{1 - \frac{1}{k}}{n \frac{1}{k} - 1}$$

Igualando el trabajo motor

$$\rho \omega h \left(H - \frac{h}{2}\right) + \rho \omega A h,$$

al trabajo del aire

$$\rho h \omega A n \frac{1 - \frac{1}{k}}{n \frac{1}{k} - 1} + \rho A \omega h \frac{1 - \frac{1}{k}}{n \frac{1}{k} - 1},$$

y dividiendo por $\rho \omega h$, obtendremos por último,

$$H - \frac{h}{2} = A \left(n \frac{1 - \frac{1}{k}}{n \frac{1}{k} - 1} + A \frac{1 - \frac{1}{k}}{n \frac{1}{k} - 1}\right)$$

de donde se deduce inmediatamente para h el valor dado por la ecuacion (2).

Partiendo de la ecuacion $\frac{p}{P} = \left(\frac{v}{v}\right)^k$ pueden repetirse

los cálculos hechos en la nota primera, y determinar fácilmente la duración de cada periodo, los diámetros de los compresores, etc.

Véase para completar este punto la memoria ya citada de Mr. Saint-Robert.

XI.

Los nuevos detalles que en las memorias ya indicadas hallamos se refieren principalmente á los compresores. Siguiendo el mismo orden que en la página 65, examinaremos sucesivamente:

- 1.º El sifon.
- 2.º Las válvulas.
- 3.º El mecanismo para poner en movimiento dichas válvulas.
- 4.º Las calderas ó depósitos.

Sifon. El tubo de cada compresor es de fundicion y está sólidamente apoyado sobre su base.

Su diámetro segun Mr. Comte y Mr. Devillez es 0,62 metros: segun Mr. Oppermann 0,60 (fig. 62.)

El diámetro del tubo que pone en comunicacion la válvula de admision de aire con la caldera es 0,40 metros.

La altura de la válvula de admision de aire comprimido sobre la válvula de desagüe 4,50 metros.

La diferencia de nivel entre el agua del depósito que alimenta los compresores y la válvula inferior es:

Segun Mr. Conte y Mr. Saint-Robert. 25 metros.

Segun Mr. Oppermann y Mr. Devillez. 26 metros.

Segun otras noticias que tenemos á la vista. 24 metros.

Las demas dimensiones pueden verse en la fig. 62.

Válvulas. La válvula de admision es la ya descrita en la página 66.

El tubo, segun parece, presenta un ensanche cilíndrico, contra lo que creimos recordar, y en él se halla colocada dicha válvula.

Mr. Comté es el que la describe más detalladamente, y de su memoria tomamos las siguientes noticias.

La válvula propiamente dicha (fig. 62) está formada de un cilindro de latón $ab a'b'$, que desliza en el interior de otro cilindro $ABA'B'$, y en cuya parte superior se han practicado 6 aberturas rectangulares $d d'$ etc. para dar paso al agua. El cilindro $AA' BB'$ está unido á la envolvente EE' por seis planos divisorios que afectan la forma $AECBafA$.

Todo el espacio D está constantemente lleno de agua y en el extremo C hay practicado un pequeño orificio, por donde el agua corre constantemente, para evitar cualquier depósito que pudiera formarse. Esta disposicion es necesaria para que cada vez que sube la válvula no sea preciso vencer el peso de una columna de 26 metros de altura.

El espacio aa' está cerrado por una superficie curva $fg, f'g'$ que conduce sin remanso el agua á las aberturas $d d'$. Dicha superficie es fija y continua, y no presenta mas huecos que los necesarios para dar paso á la varilla hh' y al cilindro $ab a'b'$ que forma la válvula.

La base anular bb' , sobre la cual se apoya la válvula al caer, está cubierta de caoutchouc para amortiguar el choque, y su espesor es de 0,05 segun Mr. Deyillez.

A fin de que la válvula caiga instantáneamente, y aun cuando su peso es considerable, se ha terminado su varilla hh' por un émbolo que desliza en un cuerpo de bomba L , en el cual se introduce aire comprimido á 6 atmósferas. La presion efectiva de 5 atmósferas del aire se agrega al peso de la válvula y la hace bajar con extraordinaria rapidez.

La parte superior del cilindro L está constantemente en comunicacion con el depósito de aire comprimido por un tubo l de 0,05 de diámetro. La parte inferior comunica con la atmósfera.

El diámetro del cilindro L es 0,13.

Esta válvula marcha con toda regularidad aun cuando el agua no esté perfectamente clara.

La válvula de desagüe D es de una construccion análoga á

la anterior é idéntica en el fondo á la descrita en la página 67.

La *válvula de admision de aire comprimido* F consiste en un disco de cobre G que se apoya sobre una base circular perfectamente alisada; y que está guiado en su movimiento por una especie de envolvente cilíndrica MM' con grandes aberturas rectangulares.

Por último, la válvula de admision de aire es una simple placa giratoria. En un principio se colocó en N; pero mientras la columna líquida bajaba de G á N se formaba una especie de vacío en la parte superior del tubo, el cual retardaba el desagüe; por esta razon se unió al orificio N un tubo que termina próximamente en G, y en su extremo se ha colocado la placa que constituye la válvula propiamente dicha.

Mecanismo para poner en movimiento las válvulas. Para completar lo dicho en las páginas 67 y 68 tomamos los siguientes detalles de la obra de Mr. Devillez.

La fig. 19 representa el mecanismo que sirve para poner en movimiento las válvulas, el cual es idéntico al descrito en las figuras 17 y 21, á escepcion de algunas piezas no representadas en estas últimas figuras, y que son las siguientes:

La máquina de aire comprimido V que comunica el movimiento de rotacion al eje horizontal o.

El gancho ó pequeña palanca E' unida al valancin ff' y que es giratorio al rededor de f'. Un resorte le sostiene en la posicion E' de la cual no puede bajar; pero cuando al caer el valancin encuentra el extremo E de la palanca HE gira en el sentido de la flecha e y sube oprimiendo á dicho resorte.

HE palanca giratoria al rededor de D: en el extremo superior lleva un gancho ó tope E que en ciertas posiciones del mecanismo sostiene al valancin ff' engranando, por decirlo así, con el gancho E'.

hh' varilla que desliza en las guías fijas h, h', y que está unida á la palanca HE: un resorte M, que por un extremo se apoya en h, y por el otro se une á la varilla, tiende á hacerla marchar de derecha á izquierda. El tope k la detiene al llegar á cierta posicion.

Finalmente, PQP' palanca angular giratoria alrededor de Q , y cuyo extremo P se apoya contra el de la varilla hW' . El tope N unido á la varilla nn' de la válvula de desagüe hace girar á esta palanca en uno ú otro sentido segun explicaremos en breve.

Fácilmente se comprende la manera de funcionar de este mecanismo.

Cuando el sector SS oprime al estribo GG el extremo f del valancin ff' sube, y la válvula A intercepta el paso del agua; al propio tiempo el extremo f' desciende, y el gancho E' , girando como indica la figura, cae bajo el tope E . En esta posicion queda sostenido el valancin aun cuando el sector SS abandone al estribo GG . Continuando el giro del eje o , el sector $S'S'$ oprime al estribo $G'G'$, y levanta la válvula B de desagüe. Mientras este sector sostiene al estribo el agua sale por dicha válvula, mas desde el momento en que el desagüe termina, la válvula cae; el tope N hace girar en el sentido de la flecha q á la palanca PQP' ; el extremo P de esta oprime la cabeza de la varilla hW' , la cual camina de izquierda á derecha, y girando el extremo E de la palanca HE en el sentido que indica la flecha e' , el gancho ó tope E abandona al E' , y la válvula A cae y descubre las aberturas rectangulares rr , por donde penetra rápidamente la columna líquida.

Cuando el compresor principia á trabajar el depósito está lleno de aire á la presion atmosférica, y parece imposible, á primera vista, poner en movimiento la máquina de aire comprimido V que ha de actuar sobre las válvulas. Sin embargo, basta para obtener aire á 6 atmósferas, *que sirva de motor inicial*, abrir la llave del tubo de presion fg (fig. 22.) El agua del depósito superior D se precipitará en la caldera y comprimirá el aire en ella contenido hasta reducirlo á 6 atmósferas.

Depósitos de aire comprimido. Las calderas en que se condensa el aire son en número de diez, correspondiendo una á cada compresor: estan formadas de planchas de palastro de 0,015 metros de espesor, y cubiertas interiormente por una capa de alquitran (*goudron* mineral de Suecia): su diámetro inte-

rior es 1,50 metros y su longitud 9,50 metros : la capacidad de cada una es de 17 metros, y por lo tanto, en cada extremo del túnel hay constantemente de reserva 170 metros cúbicos á la presion de 6 atmósferas, ó sean 1020 metros cúbicos á la presion atmosférica.

En la parte inferior del tubo que pone en comunicacion la válvula F (fig. 62) con la caldera ó depósito R, se ha fijado un pequeño depósito r' con un tubo indicador para recoger el agua que penetra por dicha válvula F.

Cada caldera lleva asimismo un tubo indicador r para conocer la altura del agua en el interior.

De cada depósito sale un grueso tubo S que termina en un conducto T, el cual corre bajo las calderas : á este conducto se une el tubo de presion fg (fig. 22). De la parte superior sale otro tubo V (fig. 62) de 0,03 metros de diámetro y un metro de longitud que termina en uno de 0,12 metros de diámetro y 24 metros de desarrollo. De este último parte el tubo de 0,20 metros que conduce el aire comprimido al túnel. Segun indica Mr. Devillez los tubos de 0,03 de diámetro que ponen en comunicacion las calderas con el tubo intermedio de 0,12, se sustituirán probablemente por otros de mayor diámetro, y el de 0,12 se suprimirá, haciendo para ello que terminen directamente los 10 tubos V en el conducto principal de 0,20 metros. De este modo se reducirá la pérdida de presion, la cual aun hoy mismo es insignificante.

XII.

Tubos de conduccion del aire comprimido. Los tubos que conducen el aire comprimido al fondo del túnel son de fundicion, de 0,20 metros de diámetro interior, 0,02 de espesor, y su longitud varia de 2 á 3 metros.

Las figuras 66 y 67 representan el sistema empleado para las uniones.

En el extremo de cada tubo hay practicada una ranura ó garganta circular A B, fig. 67, y entre cada dos ranuras se co-

loca una especie de cuerda de caout-chouc de 0,01 metros de diámetro, la cual es oprimida fuertemente por medio de pasadores que atraviesan los rebordes C D, en que terminan los tubos.

La fig. 66 representa la union completa de dos tubos.

Este sistema ha dado hasta ahora excelentes resultados, y ofrece la ventaja de poder armar y desarmar las uniones con gran rapidez; mas queda la duda de si el caout-chouc conservará por mucho tiempo su elasticidad bajo la gran presión á que está sometido.

Como la longitud de la cañería es considerable, para prevenir las alteraciones que la temperatura pudiera ocasionar, se han establecido de trecho en trecho puntos fijos por medio de tirantes, que se introducen en macizos de mampostería contruidos entre cada dos pilares consecutivos, (fig. 70).

Desde los compresores hasta las bocas del túnel el tubo insiste sobre pilares de fábrica de 2,5 metros de altura y distantes unos de otros 6,80 metros, y en el exterior de este sobre apoyos ó palomillas de hierro. A poca distancia del fondo se encorva y corre en una especie de rebajo ó hueco practicado en la roca: de este conducto parten los tubos flexibles de caout-chouc que conducen el aire á los perforadores.

Para que las dilataciones ó contracciones producidas por la variacion de temperatura puedan transmitirse libremente entre cada dos puntos fijos, el tubo de aire comprimido corre sobre pequeños rodillos R (fig. 67.)

Con este mismo objeto se han establecido de trecho en trecho varias *juntas de enchufe ó de dilatacion*, figs. 68 y 69.

La primera de estas figuras está tomada de la memoria de Mr. Oppermann, la segunda de la ya citada de Mr. Comte.

A y B representan (fig. 69) los dos tubos que han de unirse, uno de los cuales presenta un ensanche DD, en el que penetra el extremo del tubo A.

Contra el borde del tubo B y por medio de una placa anular *c d* fuertemente atornillada, se fija un cuero *a b a' b'* engrasado con sebo, el cual en razon á su elasticidad y á la presión inte-

rior del aire rodea y oprime el extremo del tubo A, sin impedir por esto que deslice libremente en uno ú otro sentido.

En cada tubo se ha dejado el *boton* correspondiente al punto por donde entró la fundicion en el molde, á fin de taladrarlo si fuere preciso para hacer una toma de aire.

Actualmente, segun Mr. Comte, cerrados los tubos de conduccion y *puestos en presion* no pierden en 24 horas 0,2 de atmósfera.

Mientras el aire comprimido corre por la cañería, la pérdida de presion entre los depósitos y el extremo, ó sea en 1.400 metros de longitud, no llega á 0,1 de atmósfera.

XIII.

LADO DE MODANE. Cuando visitamos el túnel de los Alpes las obras apenas habian comenzado en Modane, y por consiguiente solo pudimos hacer las ligeras indicaciones de la página 72.

Posteriormente, y cuando ya habian comenzado los trabajos empleando un sistema análogo para la compresion del aire al usado en el extremo de Bardoneche, se varió de plan, sustituyendo á los compresores de choque, otros que describirémos en breve, y que son indudablemente preferibles á los primeros para este punto, por las circunstancias especiales de la localidad.

Compresores. En la parte de Modane se dispone de una fuerza hidráulica considerable. El rio Arc lleva, en efecto, una masa de agua muy superior á la que exigen los aparatos de compresion; pero la caida es pequeña, y es por lo tanto difícil el establecimiento de los compresores de choque empleados en Bardoneche.

Para vencer esta dificultad, hé aquí el sistema que en un principio se eligió, y aun se comenzó á realizar. Se derivó del Arc una masa de 6 metros cúbicos por segundo, con una caida de 5,60 metros, y con esta fuerza se pusieron en movimiento varias ruedas hidráulicas, las que á su vez actuando sobre algunas bombas elevaban el agua á un depósito situado á 25 me-

tros sobre la válvula de desagüe de los compresores. El resto del mecanismo no difiere esencialmente del establecido en Bardoneche (pág. 72.)

Bajo el punto de vista teórico esta disposición es á todas luces viciosa: elevar una masa de agua para que esta á su vez actúe como motor, es, por decirlo así, dar un rodeo y perder en sistemas intermedios una parte de la fuerza motriz.

Sin embargo, Mr. Comte da las siguientes esplicaciones que tienen indudablemente gran fuerza.

«Cuando comenzaron los trabajos en Fourneaux ya algunos compresores de choque habian sido montados en Bardoneche, y daban excelentes resultados. Por otra parte, no se conocia ningun sistema de bombas capaz de comprimir masas tan considerables de aire á presiones tan elevadas, y como el tiempo apremiaba, y no podia esperarse al resultado, incierto aun, de un nuevo compresor directo, se resolvió emplear un sistema conocido y seguro, dudando tanto menos al tomar esta resolución, cuanto el Arc daba fuerza motriz de sobra y no había para qué economizarla.»

Entre tanto Mr. Sommeilleur terminó sus estudios sobre los compresores de bomba, y hoy trabajan unos y otros compresores, aun cuando la sencillez y la economía parecen dar la preferencia á los segundos.

Compresores de choque. Los siguientes detalles están tomados de la memoria de Mr. Oppermann.

El sistema de compresion se compone de dos partes distintas.

- 1.º Las ruedas hidráulicas y las bombas para elevar el agua.
- 2.º Los compresores propiamente dichos análogos en un todo á los empleados en Bardoneche.

Á fin de obtener una caída de agua suficiente para el movimiento de las ruedas hidráulicas, se ha construido un canal de derivacion de 400 á 500 metros de longitud, que toma de 5 á 6 metros cúbicos del rio Arc, y en cuyo extremo hay una caída de 6 metros.

Esta masa de agua pone en movimiento 4 ruedas hidráulicas,

cada una de las que ponen en movimiento á su vez, dos bombas que elevan el agua á un depósito, desde donde penetra en los compresores de choque.

Las figuras 63, 64 y 65 representan esta disposicion.

(Fig. 63) A A' canal de derivacion.

B, B', B'', B''' cuatro ruedas hidráulicas puestas en movimiento por el agua del canal A A'.

C, D; C', D'; C'', D''; C''', D''' bombas para elevar el agua: cada rueda hidráulica, B por ejemplo, pone en movimiento dos bombas C, D.

E E' depósito cilíndrico en que penetra directamente el agua de las bombas, y sirve para regularizar la alimentacion del depósito superior.

F, F', F'', F''' cuatro tubos que parten del depósito inferior EE' y conducen el agua al depósito descubierto A A' (fig. 64.)

(Fig. 64) A A' depósito superior situado á 25 metros sobre la válvula de desagüe de los compresores.

Este depósito se apoya sobre 14 tubos $a, a', a'', a''', B, B', B''$ que figuran otras tantas columnas. Por las cuatro primeras llega el agua impelida por las bombas; por los diez restantes cae en los compresores.

La figura 65 indica una proyeccion de dicho depósito A A'.

$a a'$ columna hueca por la cual pasa el agua al depósito.

$b b'$ conducto de salida.

$c d$ enrejados para consolidar el sistema.

(Fig. 64.) N N N' N' casa de los compresores

C E; C' E'; C'' E''..... compresores.

C válvula de admision.

D válvula de desagüe.

E válvula de inyeccion en el depósito de aire comprimido

F G; F' G'; F'' G''.... calderas ó depósitos de aire comprimido.

H; H'; H''.... tubos de 0,03 metros de diámetro y 1 metro de longitud que terminan en un tubo L L' de 0,12 metros de diámetro,

L L' tubo de que parte la cañería de conduccion M M'.

M M' cañería que conduce el aire comprimido al túnel.

l l' tubo que pone en comunicacion los depósitos G F, G' F',... y al cual se une el tubo de presion.

Bombas de agua. Las figuras 72 y 73 representan las proyecciones de una de estas bombas.

(Figs. 72 y 73.) AA; A' A' rueda hidráulica que recibe directamente la accion del agua. Dichas ruedas hidráulicas son de madera: los ejes y las armaduras de las paletas, de hierro; el diámetro exterior de la rueda es de 5,60 metros: el diámetro entre las llantas 4 metros: la velocidad de rotacion varía de 1,40 á 1,50 metros.

f f'.... disco unido al eje de la rueda AA, y al cual se une la biela de las bombas. Cada disco lleva cinco pequeños ejes *f*, *f'*, *f''*, *f'''*, *f''''*, cuyas distancias al eje central varían de 1,25 á 1,50 metros. Se une la biela á uno ú otro segun lo exige la marcha de las bombas.

a a, *a' a'* biela que comunica el movimiento á las bombas.

b b, *b' b'* varilla del émbolo.

BB, B' B' bombas de agua: su diámetro es de 0,60 metros.

E tubo de absorcion.

C tubo que conduce el agua á las dos válvulas de admision: en la figura solo se ha representado una de ellas. Su diámetro interior es 0,35 metros.

c c' válvulas de absorcion.

d d' válvulas de inyeccion.

D tubo que conduce el agua al depósito F; su diámetro es de 0,35 metros. Las bombas de agua son, como se observa en la figura, de doble efecto; cuando el émbolo camina de izquierda á derecha, la válvula *c* se cierra por la presion interior del agua, la válvula *d* se levanta, y el agua que llena el cuerpo de bomba penetra en el tubo D, y de él pasa al depósito F, y al depósito superior. Al propio tiempo se abre la válvula de admision *c'*, y el agua del depósito inferior E llena el cuerpo de bomba. Efectos análogos se verifican al retroceder el émbolo.

F depósito que recibe el agua de las bombas y que comunica con el depósito superior A A' (fig. 64.) Dicho depósito E es

de fundicion y tiene un diámetro de 1,60 metros y una longitud de 34 metros.

Posteriormente al establecimiento de cuatro ruedas hidráulicas, terminó Mr. Sommeilleur el proyecto de nuevas bombas para la compresion directa del aire, y hoy se emplea un sistema misto, trabajando á la vez las bombas de agua y las bombas de aire.

La figura 63 indica esta disposicion general.

Las cuatro ruedas hidráulicas B, B', B'', B''' ponen en movimiento las bombas C, D, C', D', etc.

Las dos ruedas H, H' trasmiten su accion á las bombas de aire L, M, L', M'.

Bombas de aire. El principio en que se funda este nuevo mecanismo es en extremo sencillo. Puede decirse que es una bomba ordinaria de condensacion en que el émbolo es una columna de agna.

Sean, (fig. 74) BC un cuerpo de bomba:

P un émbolo de movimiento alternativo, cuya varilla *a b* recibe, por el intermedio de una biela, la accion de un receptor hidráulico cualquiera:

AB, CD dos conductos verticales en cuya parte superior hay dos válvulas A, D de admision de aire, que se abren de fuera á dentro:

R un depósito regulador de aire comprimido puesto en comunicacion por el tubo *cd* con otro depósito de agua H. La columna de agua *cd* mantiene al aire del depósito R á una presion constante.

E, F dos válvulas para la admision del aire comprimido; se abren hácia el interior del depósito.

El aire pasa directamente del depósito R á los grandes depósitos de aire comprimido.

Veamos ahora como funciona el mecanismo.

Supongamos sumergido el émbolo por uno y otro lado en

una columna de agua $B' B C C'$: cuando camine de izquierda á derecha, por ejemplo, la columna de agua CC' subirá comprimiendo al aire contenido en la rama $C' F$; la presión interior mantendrá cerrada la válvula D , y cuando dicha presión llegue á ser algo mayor que la del aire contenido en R se abrirá la válvula F y pasará el aire, empujado siempre por la columna CC' , al interior de dicho depósito. Quizá la columna suba demasiado, y una parte del agua caiga en el fondo de la capacidad R ; hé aquí por qué es necesario reponer lenta pero continuamente la masa de agua $C C'$.

Mientras en la rama $C C'$ sube el agua, baja el nivel B' en la $B B'$ haciendo el vacío en el interior del tubo $B' A$: la presión atmosférica abre la válvula A , el aire penetra en el tubo, y al retroceder el émbolo, es condensado y arrojado al depósito R , mientras penetra una nueva masa de aire en el tubo $C' D$.

Tal es la teoría de las bombas de aire comprimido.

Las figuras 75, 76 y 77 representan en sus detalles dos bombas puestas en movimiento por una rueda hidráulica.

$A A'$ rueda hidráulica que trasmite la acción del agua á las bombas.

$a a, a' a'$ biela de transmisión.

$b b, b' b'$ varilla del émbolo.

$D D'$ émbolo.

$B B B' B'$ cuerpo de bomba.

$C C, C', C'$ cilindros verticales en que oscila la columna líquida y en que se verifica la compresión del aire.

E válvula de admisión de aire: para facilitar su movimiento está equilibrada por un contrapeso $f, f' f'$.

$e e$ especie de vaso lleno de agua en que está sumergida la válvula E de admisión de aire atmosférico: este vaso ó capacidad tiene un doble objeto: interceptar por completo la comunicación con la atmósfera de la rama $C C'$ en el periodo de compresión, y además servir de conducto para la inyección, en dicha rama, del agua que ha de sustituir á la que pierda la masa líquida oscilante.

$G G$ capacidad llena de agua que comunica con la válvula E :

25 dicha capacidad está dividida en dos por un filtro ó tela metálica $g\ g\ g'\ g'$.
H válvula de admision de aire comprimido recubierta por una capa de agua.
 $h\ h\ h'\ h'$ tubo que conduce el aire comprimido al depurador L.

Entre cada dos bombas, figuras 75, 76, 77 y 78, hay un depurador L, al cual llega por los tubos $h\ h\ h'\ h'$ el aire comprimido.

Cada depurador, fig. 78, se compone de una capacidad AB á que llega el aire comprimido por los tubos $a\ b, a\ b$: de un flotador C guiado en su movimiento por la varilla $c'\ c'$, cuya parte inferior termina en una válvula c ; y finalmente de un vaso DD lleno de agua.

Una parte de la columna líquida oscilante penetra en cada oscilacion ascendente al través de la válvula H (fig. 75) en el tubo $h\ h$, y arrastrada por el aire llega hasta la capacidad A B (fig. 78.)

En el interior de esta capacidad se separan el aire y el agua, saliendo el primero por un tubo superior que termina en las calderas de aire comprimido, y cayendo el agua en la parte inferior B. Cuando el nivel del líquido llega á cierta altura, el flotador se eleva, la válvula c se abre, y el agua, oprimida por el aire contenido en A, sube por el tubo $ef\ldots\ldots e'\ f'$ hasta el vaso DD.

Esta misma agua, figuras 75, 76, 77 y 78, sale por los tubos ll, ll' y alimenta el vaso GG, de donde cae á la válvula E.

La misma masa de agua, salvas las pérdidas por evaporacion, recorre todo el aparato: del depósito G G al vaso ee de la válvula E; de este á la columna oscilante; de la columna oscilante al depurador; y por último, del depurador al depósito GG.

La capa de agua que cubre el orificio de la válvula E tiene 2 centímetros de espesor.

El émbolo efectúa ocho oscilaciones por minuto.

Su carrera es 1,20 metros, y el diámetro del cuerpo de bomba 0,57.

El volúmen comprimido en cada oscilacion completa es 0,61, ó sean 4,88 metros cúbicos por minuto, y 7027 metros cúbicos en 24 horas: es decir, casi tanto como los compresores de choque, marchando á razon de 4 oscilaciones por minuto.

Efecto útil. Mr. Comte calcula del siguiente modo el efecto útil de los compresores.

Masa de agua que cae sobre la rueda hi-

dráulica en un segundo. 1,00 metro cúbico.

Altura de la caída. 5,6 metros.

Trabajo motor de la caída de agua. 5600 ^{km}.

Coefficiente de efecto útil de la rueda. 0,75.

Trabajo recogido por el receptor. 5600 × 75 = 4200 ^{km}.

Trabajo de la caída en un minuto. 356000 ^{km}.

Id. recogido por la rueda. 252000 ^{km}.

Fórmula del trabajo necesario para la compresion del aire en cada semi-oscilacion:

$$p \cdot v \log. \text{hip.} \frac{P}{p} \quad (\text{pág. 54}).$$

Poniendo por p , v y P sus valores,

$$p = 10350,$$

$$v = 0,506,$$

$$P = 7 \times p, \text{ tendremos:}$$

trabajo necesario para la compresion del aire en cada semi-oscilacion =

$$10350 \times 0,506 \times \log. \text{hip.} 7 = 6151 \text{ km};$$

y por 8 oscilaciones,

$$6151 \times 16 = 98416 \text{ km}.$$

Finalmente,

trabajo necesario para la compresion del aire en 1 minuto por cada dos bombas movidas por la misma rueda: 196832.

De donde se deduce;

Coefficiente de efecto útil relativo á la caída

$$\text{de agua.} \quad \frac{192832}{356000} = 0,59$$

$$\text{Id. relativo á la rueda hidráulica.} \quad \frac{192832}{252000} = 0,78$$

Mr. Devillez obtiene para este último coeficiente, segun esperiencias hechas en Seraing. : 0,775,

y entra en detalles sumamente interesantes sobre los medios de regularizar la velocidad de los émbolos.

Se deduce de lo espuesto este interesante dato :

Seis compresores de bomba pueden comprimir en 24 horas 42.162 metros cúbicos de aire , reduciéndolos á 7.027 metros cúbicos.

Plano inclinado automotor. De la memoria de Mr. Oppermann tomamos la siguiente descripción :

«Además de los dos edificios en que se hallan los compresores, las ruedas hidráulicas y las bombas, se han establecido cerca de Modane, como en Bardoneche, varias otras construcciones: talleres, oficinas, habitaciones para los Ingenieros, casas de obreros, etc., etc. Para establecer una comunicación directa entre los trabajos del túnel, que se halla á 105 metros sobre los talleres, edificios, etc. y estos, se ha construido, en la vertiente de la montaña, un plano inclinado automotor de 25° á 28° de inclinación (figs. 71 y 71².)

«Las dos vías A conducen de los talleres al pié de la rampa, y están interrumpidas por un muro BB. Las vías C C de la rampa terminan al pié de dicho muro BB, en c, á 2,20 metros próximamente bajo el nivel de las vías A A, y corren en una longitud de 240 metros hasta la parte superior c' c' del plano inclinado, en donde comienzan las dos vías DD que conducen al túnel, situadas á 1,10 metros sobre el extremo superior de las vías C C. A las dos estremidades de un cable cc, — que en la parte superior de la rampa se arrolla sobre una polea H de tres metros de diámetro, — están sujetos dos wagones EE' de hierro, formando una capacidad que puede llenarse de agua, y cuya parte superior gg g' g' queda constantemente horizontal. Estos dos wagones corren sobre las vías C C de la rampa.

«Supongamos que un wagon ó carro cargado en uno de los talleres ó depósitos con herramientas, materiales, etc., llega al pié de la rampa. Para elevarlo al túnel se desagua uno de los wagones E ó E', el E por ejemplo, y se le deja descender hasta que su plataforma g g quede á nivel de la vía A, y se

»corre sobre dicha plataforma el wagon cargado. El wagon E'
»se hallará en la parte superior de la rampa, y basta llenarlo
»de agua, para que, sirviendo de fuerza motriz, caiga y eleve al
»propio tiempo al E con el wagon cargado. Cuando la platafor-
»ma *g g* esté al nivel DD, podrá entrar dicho wagon en la via
»DD y ser llevado al túnel.

»Para bajar por la rampa un wagon cargado, el wagon lleno
»de agua sirve de contrapeso.

»Las cajas de los wagones E, E', son de palastro con abertu-
»ras convenientemente dispuestas para la entrada y salida del
»agua: su capacidad es de 4 metros cúbicos.

»Los cables tienen 0,05 metros de diámetro y están soste-
»nidos de 8 en 8 metros por poleas *p, p* de fundicion.»

XIV.

Ademas del sistema de Mr. Mauss, el conocido y reputado ingeniero francés Mr. Oudry ha combinado, segun nuestras noticias, otro mecanismo, por cuyo medio no es necesario el empleo de la pólvora. Grandes discos provistos de diferentes útiles, segun la dureza de la roca, y animados de un rápido movimiento de giro, son los verdaderos aparatos de perforacion. Carecemos de noticias para entrar en la descripeion detallada de este proyecto.

XV.

Descripcion del primer tipo de perforadores. El primer tipo de los perforadores de Mont-Cénis es idéntico, salvo diferencias de detalle, al ya descrito en las páginas 81 y siguientes. Basta para convencerse de ello comparar las figuras 52, 53, 54, 55, 56 y 57 á las 60 y 61 que representan el perforador de Mr. Sommeilleur, segun la descripeion de Mr. Comte, Mr. Dévillez, etc. y en las que las mismas letras representan órganos idénticos del aparato.

Nos limitaremos por lo tanto, sin entrar en nuevas explicaciones, á señalar las diferencias de detalle.

Hé aquí los órganos ó piezas de que se compone el mecanismo.

$c\ c'$ cilindro de una máquina de aire comprimido unida invariablemente al bastidor que sostiene todo el mecanismo.

$b\ b'$ caja de distribución del aire comprimido.

e escéntrico para la distribución.

XX volantes.

E engranage de ángulo que trasmite la acción de dicha máquina al resto del aparato.

Esta máquina fija tiene por objeto: 1.º, hacer avanzar al útil: 2.º, distribuir el aire comprimido en el cilindro móvil: 3.º, regularizar la marcha del aparato; 4.º, comunicar al útil siempre que sea necesario un movimiento de retroceso.

$q\ q'$ eje de sección cuadrada sujeto tan solo al movimiento de rotación que recibe del engranage E . Hemos supuesto, (página 90) por la diferente disposición que dimos á otras piezas del mecanismo, que estaba compuesto dicho eje de dos partes: una cilíndrica, otra cuadrangular; sin embargo, la combinación que ahora describimos es mucho mas sencilla, y por lo tanto preferible á la primera.

Q rueda montada sobre el eje $q\ q'$ y que sirve, segun lo dicho en la página 89, para el movimiento de retroceso.

S, S' ruedas que transmiten al aparato la acción de la rueda Q cuando se hace avanzar á esta última hasta que engrane con la rueda S .

Supusimos, páginas 89 y 90, que una sola rueda S recibía la acción de la rueda Q , y la misma hipótesis hace Mr. Devillez; sin embargo, Mr. Comte y Mr. Armengaud, así como Mr. Oppermann, suponen que hay dos ruedecillas S, S' .

$P: p\ p'$ escéntrico que trasmite el movimiento de rotación del eje $q\ q'$ á la rueda $D\ D'$, y por el intermedio de esta al eje $A\ A'$.

Partimos en la página 81 y siguientes de la hipótesis de que el escéntrico P y la rueda $D\ D'$, así como la rueda S , no te-

nian movimiento de traslacion, y por esta causa nos fué necesario componer el eje $q q'$ de dos partes, y transmitir el movimiento de la rueda DD' al eje $A A'$, á medida que este avanzaba, por la varilla cuadrada $d d'$. En el perforador de Mr. Sommeilleur el escéntrico P avanza corriendo como un anillo sobre el eje $q q'$, y es arrastrado por la parte inferior del mecanismo en que se apoya. Las ruedas S, S' , y la rueda de trasmision DD' , avanzan igualmente con el cilindro motor $C C'$.

$R R'$ resorte que apoyándose en la parte L empuja á la rueda N' contra la rueda $F F'$.

m rebajo anular en que tiene su punto de apoyo el extremo de la palanca $a a'$. La rueda N puede girar libremente sin arrastrar en su movimiento de rotacion á la palanca; pero el extremo de esta queda siempre en dicho hueco anular.

Una disposicion análoga supusimos (fig. 33) para la union de la palanca y de la rueda N .

$N N'$ rueda á la cual comunica directamente un movimiento continuo de rotacion la $D D'$.

$n n$ pequeños dientes laterales en que termina la rueda N , y que, cuando avanza oprimida por el resorte R hácia la rueda F , penetran en igual número de huecos $n' n'$ que lleva esta última.

Esta disposicion es exactamente igual en su esencia á la representada en la fig. 33, aunque el número de dientes es mayor en esta que en la fig. 60 y estan ocultos en el interior del macizo de la rueda F .

$F F'$ rueda de dientes helizoidales que engrana con las cremalleras $G G, G' G'$, y que comunica un movimiento longitudinal de avance á toda la parte móvil. Dicha rueda $F F'$ es loca sobre el eje $A A'$.

$C C'$ cilindro motor.

$K K'$ caja de distribucion del cilindro motor.

k corredera para la distribucion del aire comprimido.

$T T'$ rueda helizoidal á la que comunica un movimiento de rotacion continuo el eje $q q'$, y que oprimiendo á la varilla $k k'$ de la corredera la hace marchar de izquierda á derecha.

Esta rueda se halla unida y formando cuerpo con el escéntrico P en el perforador de Mr. Sommeilleur. Nosotros supusimos que el escéntrico no tenia movimiento de traslacion y se hallaba unido á la parte cilíndrica del eje $q q'$, al paso que la rueda T avanzaba con el cilindro motor y estaba al efecto montada en la parte rectangular de dicho eje $q q'$.

AA' eje al cual comunica un movimiento continuo de rotacion la rueda D D', y que penetrando en el émbolo E, al cual va unido el útil, le comunica dicho movimiento.

Como habíamos supuesto que la rueda D D' no tenia movimiento de traslacion, tuvimos necesidad de transmitir al eje AA' el movimiento de rotacion por la varilla cuadrada $d d'$, y de hacer hueco, á este fin, dicho eje AA': en el perforador de Mr. Sommeilleur la varilla $d d'$ no existe, y el eje AA' es macizo, y por medio de una lengüeta trasmite al émbolo E el movimiento de rotacion de la rueda D D'.

El émbolo se halla constantemente segun digimos (pág. 145) entre dos capas de aire comprimido: la diferencia de áreas de las partes E y E' dan lugar á una diferencia de presion, en virtud de la cual avanza lanzando á la barrena contra la roca. La distribucion del aire se efectúa por los conductos y aberturas $x y z, x' y' z'$.

El aire comprimido llega á la caja de distribucion por el tubo Y, y de ella pasa por el conducto z' á la parte E del cilindro motor, y obra continuamente contra la superficie anular del émbolo: por las aberturas $x' x$ pasa asi mismo á la parte opuesta del cilindro, oprime al émbolo y le hace avanzar de izquierda á derecha.

Cuando la corredera cierra la abertura x , el rebajo ó hueco y' pone en comunicacion los conductos z é y , de los cuales el primero comunica con la atmósfera; el aire comprimido desaloja la parte E' del cilindro; y el aire que obra contra la cara opuesta del émbolo, le hace caminar de derecha á izquierda hasta su posicion inicial. El movimiento alternativo de la corredera se consigue por la rueda TT' y el resorte s. $a a' a''$ palanca compuesta de dos partes: la primera $a a'$ uni-

da invariablemente al cilindro CC', la segunda $a'a''$ giratoria alrededor de a' : esta última desciende cuando es oprimida por el tope H al avanzar el útil. Su objeto y su modo de funcionar quedan ya explicados en la pág. 87.

La teoría de este mecanismo está en un todo conforme con lo dicho en las páginas 74 y siguientes.

La distancia entre cada dos dientes inferiores g de las barras laterales es de. 0^m,04

La escursión máxima del émbolo. 0^m,20

El cilindro regulador tiene 0^m,06 de diámetro y 0^m,1 de carrera.

Las demás dimensiones del aparato pueden verse en las figuras 60 y 61.

Se ha dado al extremo de la barrena la forma de una Z y para abrir barrenos de gran diámetro se emplean, según monsieur Oppermann, útiles de la forma que indica la figura 59. Los primeros se usan para agujeros de 0^m,04 de diámetro, los segundos (fig. 59) practican un agujero central de 0^m,04 y lo ensanchan al propio tiempo hasta 0^m,09.

XVI.

Segundo tipo de perforadores. En ninguna de las memorias anteriormente citadas hemos hallado la descripción del segundo tipo de perforadores; mas en la última exposición universal, celebrada en Londres, se presentó un dibujo de este segundo tipo, el cual pudimos copiar aunque muy á la ligera porque nos amenazaba de continuo la severa vigilancia de los policemans. La fig. (81) representa las partes principales del mecanismo: ni detalles ni explicación alguna acompañaban á este dibujo; más fácilmente se colige, teniendo presentes los principios generales expuestos en las páginas 74, etc, cual es el objeto de cada una de sus diferentes piezas. Creemos, pues, exacta la siguiente descripción, aun cuando debemos advertir que hecho el dibujo sin sujeción á escala, y tan solo para dar una idea del aparato, *hay notable desproporcion entre sus di-*

mensiones, sobre todo en el cilindro motor, respecto á las demás partes del mecanismo.

El movimiento longitudinal alternativo de la barrena se consigue uniéndola al émbolo B del cilindro motor AA' en que entra el aire comprimido.

El movimiento continuo de rotacion se obtiene por la accion del cilindro motor CC' sobre el escéntrico D, el cual, por la biela $d d'$, por las palancas EE', $e e'$, y finalmente por el engranaje de ángulo F, hace girar al bástago bb' á que vá unido el útil S.

La distribucion del aire comprimido en los dos cilindros AA' y CC' se efectúa del modo siguiente: la varilla c y la biela c' comunican un movimiento continuo de rotacion al eje o : dos escéntricos montados sobre este eje, por medio de las palancas y varillas, $a, a' a'', a'''$, el primero; y $b, b' b'', b'''$, el segundo, comunican un movimiento alternativo á las correderas de ambos cilindros.

El extremo E' de la palanca EE' transmite la accion del cilindro CC' al engranaje de ángulo H por la varilla ff' ; y la tuerca G, corriendo sobre el tornillo LL', arrastra consigo á todo el aparato, con lo cual se consigue el movimiento general de avance del cilindro motor.

El resorte r , la palanca $h h'$, cuyo extremo se apoya sobre los dientes de la barra NN', la palanca mm' , y el tope M unido al vástago bb' , forman un sistema regulador idéntico al descrito para el primer tipo.

XVII.

Carro de los perforadores. La fig. 79 representa el carro en que van apoyados los perforadores y está tomada de la memoria de Mr. Comté.

La máquina de aire comprimido T sirve para poner en movimiento el mecanismo á lo largo de los carriles en que se apoya.

La bomba b puesta en movimiento tambien por el aire com-

primido, toma agua en los pozos que han sido abiertos en varios puntos del túnel, y alimenta los depósitos V'V''V''' de los cuales pasa el agua, oprimida por el aire, al pequeño depósito *v*. De este último salen los tubos que lanzan el agua á los agujeros de los barrenos.

r Representa el depósito de aire comprimido que alimenta los perforadores.

El peso del carro es de 15 á 16 toneladas.

Comparando la fig. 79 á la 38, 39 y 40 en que las mismas piezas del aparato están representadas por iguales letras, se observa que no difiere esencialmente del descrito por nosotros en la página 96 y siguientes.

En los carros que Mr. Sommeilleur ha hecho construir recientemente, dice Mr. Comte, ha sustituido á las barras dentadas tornillos verticales, á cuyas tuercas se unen las barras horizontales que sostienen los perforadores: de este modo se facilitan de una manera notable todos los movimientos verticales.

Efecto útil de los perforadores. La carrera del cilindro motor, dice Mr. Devillez, sobre los largueros en que se apoya, no escede de 0^m,75 á 0^m,80, de suerte que con una sola barrena no pueden abrirse agujeros cuya profundidad esceda á este límite; sin embargo, empleando sucesivamente dos barrenas puede llegarse á mayores profundidades: por lo general varían entre 0^m,75 y 0^m,90.

En el lado de Bardoneche la carrera de los barrenos, ó sea la amplitud de su oscilacion, varía de 0,16 á 0,20 metros; el émbolo del cilindro regulador tiene 0,06 metros de diámetro y 0,06 de carrera; el émbolo del cilindro motor 0,065 metros, y su varilla 0,05 metros, de diámetro; por último, la tensión del aire comprimido, en el pequeño depósito que alimenta los perforadores, varía de 4,5 á 4,7 atmósferas, ó como término medio, es de 4,6 atmósferas sobre la presión atmosférica, y el número de golpes por minuto es, término medio tambien, 250: (varía de 240 á 260.)

El volúmen de aire comprimido gastado en cada golpe de

barrena se compone del de *dos cilindros* de la máquina regulatriz, y *uno* próximamente de la máquina motriz. En efecto, aun cuando á primera vista pudiera creerse que el volúmen de aire gastado en el cilindro motor es inferior al de este en toda la parte que ocupa la varilla A A' (fig. 60) debe observarse que al avanzar el émbolo queda en hueco el espacio que llenaba dicha varilla, y que penetrando el aire entre ambas piezas se estiende libremente de una á otra.

Con los datos anteriores tenemos, pues :

Volúmen descrito por el émbolo de la máquina regulatriz;

$$= 0,06 \times \pi \frac{0,06^2}{4} = 0^{\text{ms}},0001696.$$

Volúmen descrito por el émbolo de la máquina motriz :

$$= 0,18 \times \pi \frac{0,06^2}{4} = 0^{\text{ms}},000598.$$

Volúmen gastado en cada golpe de barrena :

$$= 0,^{\text{ms}}0,000598 + 2 \times 0,0001695 = 0^{\text{ms}},000937 =$$

próximamente, á 1 litro de aire comprimido.

Dando la máquina 250 golpes por minuto, el volúmen de aire gastado será pues $0^{\text{ms}},001 \times 250$.

Esta masa de aire actuando contra un émbolo sujeto á la contrapresion atmosférica, desarrollaria, en cada segundo de tiempo, un trabajo motor igual á

$$\frac{4^{\text{st}},6 \times 10335^{\text{kil}} \times 0^{\text{ms}},001 \times 250}{60'' \times 75^{\text{km}}} = 2,64 \text{ caballos de vapor.}$$

Como esta masa de aire obra con su presion máxima, y sin aprovechar por lo tanto la expansion, fácilmente se prevee que la pérdida de fuerza motriz ha de ser considerable. En efecto, hemos visto, pág. 158, que para reducir á 5 atmósferas un volúmen de aire igual á $1^{\text{ms}},298$ á 1 atmósfera, es decir, para obtener $\frac{1298}{6} = 126$ litros á 6 atmósferas, se necesitaba un tra-

bajo teórico igual á 24031^{km} , y un trabajo efectivo igual á 33748^{km} ; por lo tanto, para condensar 250 litros se necesitarán $33748 \frac{250}{216} = 39060$ kilográmetros por minuto,

ó bien 8,08 caballos de vapor.

«Suponiendo, dice Mr. Devillez, que la tension del aire comprimido, en el cilindro motor, sea la misma que la del depósito que alimenta los perforadores, —lo que no es, sin embargo, completamente exacto, porque sin duda se pierde en el cilindro gran parte de dicha tension— la fuerza que actúa sobre la barrena será la debida á 4,6 atmósferas, por metro cuadrado, sobre una superficie igual á la diferencia que existe entre la total (un círculo de 0,065 de diámetro), y la superficie anular de la cara opuesta (cuyos diámetros son 0,065 y 0,05 metros): resultará pues ;

$$\text{fuerza motriz} = 4^{\text{at}}, 6 \times 10553^{\text{kil}} \times 0,785 \times 0,05^2 = 93^{\text{kil}}, 28.$$

»Esta fuerza se ejerce á lo largo del camino 0,18 metros, y como la masa lanzada contra la roca pesa término medio 18^k, el choque será el mismo que el de una masa de 18^k cayendo de una altura de 0,93 metros.

En efecto, la masa de la barrena abandonada á la accion de la gravedad, estaria sometida á una fuerza constante de 18^k; mas como está sujeta á lo largo del camino 0,18 metros á una fuerza de 93^k,28, es decir, $\frac{93,28}{18}$ veces mayor, para comparar su accion con el de un peso de 18^k, y calcular la altura equivalente de la caída, debemos multiplicar este camino por la relacion $\frac{93,28}{18}$, con lo cual sesultará $0,18 \frac{93,28}{18} = 0,93$ metros.

Segun la memoria inserta en la publicacion industrial de Armengaud, se estan construyendo nuevos perforadores en que la presion constante que obrará sobre el cilindro motor será, no ya de 93 ó 95, sino de 150 kilogramos, con lo cual aumentará notablemente su efecto.

De la misma memoria de Mr. Devillez tomamos las siguientes noticias de algunas esperiencias efectuadas en Seraing.

Una barrena, cuyo bisel tiene de anchura 0,044 metros, abre agujeros de 0,048 metros de diámetro y 0,63 metros de profundidad, en 17 minutos, dando de 230 á 240 golpes por minuto y trabajando sobre una masa calcárea bastante compacta.

La velocidad media de avance es de $\frac{0,63}{17} = 0,037$ metros por minuto. La tensión del aire en el depósito es de 5 atmósferas $\frac{1}{2}$ sobre la presión atmosférica.

Para sacar la barrena se necesitan de 15 á 30 segundos.

El tiempo necesario para abrir la boca de cada barreno, lo cual se consigue por medio de pequeños golpes, es de 1 $\frac{1}{4}$ á 2 minutos.

Los resultados obtenidos en Bardoneche no eran tan ventajosos cuando visité el túnel, dice Mr. Devillez, aunque completamente satisfactorios: ocho perforadores, en 6 horas de trabajo, abrían de 70 á 80 barrenos, cuya profundidad variaba de 0,75 á 0,90 metros, en esquistos calcáreos.

Las ocho barrenas no trabajaban todas al mismo tiempo: ya eran seis ó siete, ya cuatro ó cinco, y á veces solo dos ó tres; de suerte que cada barrena apenas trabajaba durante 3 de las 6 horas que componían el tiempo total. Estas interrupciones provenían, ya de la descomposición de algún órgano del mecanismo, ya de la sustitución de una barrena por otra, ya del cambio de posición del perforador al terminar un barreno y comenzar otro nuevo.

La velocidad de avance, en la hipótesis de 75 barrenos de 0,80 metros de profundidad, abiertos en 6 horas por ocho barrenas, será por cada barrena $\frac{75 \cdot 0,80}{8 \cdot 6^h 60'} = 0,021$ por minuto; y suponiendo que se pierde la mitad del tiempo total en las diferentes maniobras antes indicadas, la velocidad efectiva resultará de 0,042.

Cada barrena solo puede abrir 3 agujeros á lo mas; generalmente 2, y aun á veces, si la dureza del terreno es considerable, antes de terminar el primero es preciso sustituirla por otra.

XVIII.

Operaciones para la perforación; orden y organización del trabajo. Tomamos de la memoria de Mr. Comté los si-

guientes detalles relativos á la perforacion de la pequeña galería, cuyas dimensiones son próximamente 4 metros de anchura por 3 de altura.

»Se sujetan al carro de los perforadores ocho de estos, y se conduce hasta la proximidad del punto de ataque.

»Dos perforadores, colocados próximamente hácia el centro, abren en una línea horizontal doce agujeros, alternativamente de 0,04 y 0,09 metros de diámetro: figuras 56 y 58.

»Se practican á continuacion otros 10 agujeros en una línea paralela á la primera; y por último, 60 agujeros mas, próximamente, esparcidos por toda la superficie de ataque: resultan pues 80 agujeros en una superficie de 12 metros cuadrados.

»En este trabajo se emplea por término medio 6 horas, y queda la roca al cabo de este tiempo acribillada, por decirlo así, por 80 agujeros de 0,90 metros de profundidad, y de los que 6 tienen un diámetro de 0,09 metros.

»Terminado este periodo de trabajo, se retira el carro con los ocho perforadores al abrigo de dos puertas de encina, que cierran la galería, y le protegen de los pedazos de piedra que pudieran saltar.

»Se limpian los agujeros por un surtidor de aire comprimido que los seca rápidamente, y se cargan con cartuchos preparados de antemano.

»Las voladuras se efectuan sucesivamente, cargando ante todo los agujeros del centro, y dejando libres los de 0,09 metros de diámetro, á fin de que los barrenos al encontrar en el sentido de dichos agujeros una línea de menor resistencia, rompan transversalmente. El resultado de esta primera explosion es practicar en el centro de la superficie de ataque una especie de hueco ó cavidad cuyas dimensiones son: anchura, 1,50; altura, 0,40; profundidad, de 0,80 á 0,90 metros.

»Formado este hueco, fácil es aprovechar los demas barrenos, á los que se dá fuego sucesivamente de ocho en ocho, avanzando siempre del centro á las estremidades.

»Los escombros ó pedazos de piedra que resultan de esta serie de explosiones, son por lo general poco voluminosos y

»fáciles de cargar. Para facilitar esta operación se establecen,
»lateralmente á la vía central, sobre la cual marcha el carro de
»los perforadores, pequeñas vías de 0,60 metros por las que
»circulan wagones planos (fig. 80), y sobre cada uno de estos se
»coloca una caja en que se recogen los escombros.

»El trabajo de las voladuras y de la estracción de escombros
»dura próximamente 4 horas, resultando, pues, 10 horas para
»el tiempo total de cada periodo de ataque (1).

Mr. Devillez describe como sigue la organizacion de los tra-
bajos para la apertura de la galería central.

.....«Cuando el mecanismo se halla convenientemente dis-
»puesto, comienza el trabajo, y se practican los agujeros próxi-
»mamente como indica la figura 55, que es un corte transversal
»de la galería.

»El número de barrenos varia de 70 á 80, segun la dureza
»de la roca, y su profundidad de 0,75 á 0,90, segun que se
»hayan practicado en puntos mas ó menos salientes, y que las
»capas que atraviesan sean mas ó menos duras. El punto en que
»se ha de practicar cada agujero ha sido marcado de antemano,
»con una brocha empapada en almazarron, por el jefe que dirige
»los trabajos, el cual escoge dichos puntos en la posicion que
»juzga mas ventajosa.

»Mientras se abren los primeros barrenos, uno ó dos cante-
»ros preparan el sitio en que han de practicarse los restantes,
»aplanando la superficie de la roca, á fin de que los útiles co-
»mencen fácil y rápidamente su trabajo; circunstancia impor-
»tante, porque si los primeros golpes de las barrenas caen so-
»bre superficies oblicuas pueden desviarse notablemente de su
»dirección.

»Los dos perforadores centrales practican cuatro grandes
»agujeros de 0,08 metros de diámetro, á 1,50 metros próxima-
»mente sobre el suelo de la galería, y entre estos, sobre la mis-
»ma línea horizontal, y distantes de eje á eje 0,12 metros, otros

(1) Compárense estos resultados con las hipótesis de la página 113 y si-
guientes.

»tres agujeros de 0,04 metros. Al rededor de esta línea y dentro
»de la curva M se abren otros varios, bastante próximos á los
»primeros, y por último, algunos mas por encima y debajo de
»dicha curva.....

»La operacion completa dura por término medio *seis horas*,
»unas veces mas, otras ménos, segun la dureza de la roca que
»es muy variable, y segun el número de perforadores que se
»han descompuesto durante la operacion.....

»Se vé por lo dicho que no se tiene en cuenta la direccion
»de los planos de estratificacion contra la costumbre adoptada
»en esta clase de trabajos, y cuyas ventajas están plenamente
»demostradas por la esperiencia. Por lo demas hubiera sido im-
»posible, atendiendo al estado de la roca, combinar un meca-
»nismo que venciera esta gran dificultad....

»Practicados ya todos los agujeros, cuyo número se ha de-
»terminado por una larga serie de esperiencias, se retira el
»carro, así como el tender que conduce las calderas de agua,
»á una distancia de 50 á 100 metros, hasta un punto en que
»se ha ensanchado la galeria á fin de establecer una nueva via
»lateral para los pequeños wagones; y terminada esta maniobra,
»se cierran dos fuertes puertas, las cuales protegen á los obre-
»ros de los fragmentos de roca que pudieran saltar en las ex-
»plosiones.

»He aquí la marcha de la operacion en este último periodo
»de trabajo:

»Se cargan los barrenos con cartuchos de 0^m,30 de longi-
»tud, dejando en hueco los grandes agujeros, contra los cua-
»les estallan aquellos, resultando en consecuencia una ranura
»horizontal A A' de un ancho tal que pudiera introducirse en
»ella fácilmente el brazo.

»Cuando alguno de los barrenos *a a* no rompe el espesor
»de roca que le separa de los grandes agujeros de 0^m,08 de diá-
»metro A, lo cual sucede casi siempre, se aprovechan para este
»fin, y para ensanchar la ranura, los agujeros *b b* inmediatos
»á esta línea horizontal.

»Acto continuo se cargan los agujeros de mina compendi-

»dos en la curva NN, y por medio de mechas de desigual longitud se dá fuego, primero á los barrenos que estan á derecha é izquierda de la ranura central, despues á los situados en la parte superior, y por último, á los inferiores á dicha ranura. »La operacion termina cargando los barrenos X, Z y dando fuego en primer lugar á los de la parte X, que deben para ello llevar mechas mas cortas que los Z, y finalmente, á estos últimos.

»Claro es que al terminar cada série de esplosiones es forzoso retirar á cierta distancia los materiales acumulados en el fondo de la galería.

»Cuando alguno de los barrenos no ha producido el efecto que se esperaba, ó cuando se han disparado sin estallar, es indispensable cargar segunda vez estos últimos, y aun en ocasiones practicar á mano nuevos barrenos que completen la operacion. Este trabajo suplementario, que se efectúa al propio tiempo que se extraen los escombros, es largo y penoso, pues la galería está llena de humo, y hasta el presente la ventilacion, durante este periodo, ha sido sobremanera imperfecta.....

»La masa considerable de escombros que han de sacarse por medio de los pequeños wagones, hasta mas allá del carro de los perforadores, donde descargan en otros de grandes dimensiones montados sobre la via central; lo imperfecto de la ventilacion, causa por la cual trabajan difícilmente los obreros; las interrupciones que son consecuencia natural de los barrenos que se dan aisladamente para completar el trabajo; todo esto prolonga considerablemente la duracion de este periodo que se eleva por término medio á 6 horas.....

»Resulta de lo dicho que cada periodo total de trabajo es de 12 horas..... Desde el 16 de agosto de 1861 al primero de setiembre, el avance diario ha sido de 4,62 metros en 24 horas, lo cual dá para el espesor de la capa de roca desmontada en 12 horas, 0,81 metros.»

Los ingenieros italianos que estan al frente de la obra no creen seguramenne que tal sistema haya llegado á su perfec-

cion, «y en la época de mi visita al túnel, dice Mr. Devillez, Mr. »Sommeilleur estudiaba un nuevo carro capaz de sostener 12 »perforadores, sin que por ello sufrieran molestia alguna los »obreros encargados de la maniobra: este aumento de una ter- »cera parte en el número de los perforadores, reduciría de 6 á »4 horas la duracion de cada periodo; y aun cree Mr. Sommei- »lleur posible abreviar notablemente el tiempo necesario para »la estraccion de escombros, estableciendo á este fin dos vías, »una á cada lado de la central, en el punto en que se detiene »el carro de los perforadores durante dicha operacion: una de »ellas para el paso de los pequeños wagones cargados, otra para »los wagones vacíos.....; en fin, merced á la esperiencia que »vayan adquiriendo los obreros, y á una organizacion conve- »niente para la estraccion de escombros, supone que se ganará »bastante tiempo en todo este periodo de trabajo.»

Mr. Devillez se adhiere en un todo á la opinion de Mr. Sommeilleur, y concluye este punto de su escrito con las siguientes observaciones:

«No deben considerarse los resultados obtenidos hasta hoy »sino como preliminares; y yo creo, como los ingenieros italia- »nos, que con el perforador, con una fuerza tan considerable »como la de que se dispone en Bardoneche, con obreros adies- »trados en el manejo de los perforadores, con una conveniente »organizacion del trabajo, y una buena ventilacion, se llegará »á una velocidad media de avance de 3 metros por cada 24 ho- »ras, á ménos que, contra todas las previsiones, la dureza de »la roca no aumente considerablemente en el centro de la mon- »taña.....»

El personal empleado durante los dos periodos de trabajo antes indicados es el siguiente:

Un maquinista (jefe) para los cuatro perforadores cen- trales.	1
Maquinistas para cada dos perforadores laterales.. . .	2
Ayudantes para colocar las barrenas (1 por cada dos perforadores).	4
Canteros para preparar la superficie de ataque y las	

bocas de los barrenos.	2
Ayudantes para las maniobras, etc.	6
Muchachos que vierten aceite en las partes frotantes de los perforadores.	2
Total para la apertura de los barrenos.	17
Un minero (jefe) para colocar los cartuchos y señalar el punto mas conveniente en que han de abrirse los barrenos.	4
Obreros para la estraccion de escombros.	12
Total para el segundo periodo.	13
Total general.	30

Ventilacion. Hé aquí lo que sobre este punto importantísimo dice Mr. Devillez. (La fecha de la Memoria de Mr. Devillez es, 15 de mayo de 1862.)

»Hasta el presente no se ha empleado en la parte de Bardo-
»neche otro medio de ventilacion, que el aire comprimido que
»sale de los perforadores, despues de haber actuado en ellos
»como fuerza motriz, y el movimiento del aire atmosférico de-
»bido á las diferencias de densidad y temperatura que son
»grandes en una galería situada á tal elevacion.

»Durante la marcha de los perforadores, el fondo de la pe-
»queña galería, en el cual se reunen una veintena de hombres,
»y en la cual arden una docena de lámparas, se halla perfecta-
»mente ventilada por el aire que sale de los perforadores, y se
»podria permanecer allí indefinidamente sin la menor incomo-
»didad: ademas, la rápida dilatacion del aire produce un nota-
»ble descenso de temperatura, sin cuya circunstancia difícil-
»mente podrian trabajar los obreros en el interior del subter-
»ráneo.

»Pero no sucede lo mismo en el siguiente periodo de traba-
»jo : las multiplicadas esplosiones de los barrenos, la produc-
»cion de humo y de gases deletéreos, vician la atmósfera, y co-
»mo por otra parte los perforadores han cesado de funcionar,

»queda suprimido todo medio de ventilacion. Ciertamente es, que se abre algo la estremidad del conducto de aire comprimido, pero solo se dá salida á cortísima cantidad de aire, es decir, al puramente preciso para salvar á los obreros de la asfixia, y sin embargo, durante este periodo de trabajo es cuando una ventilacion enérgica es mas necesaria.....

»Creo, dice Mr. Devillez, que un sistema de ventilacion por el cual se lanzaran al fondo de la galeria tres ó cuatro metros cúbicos de aire puro, por segundo, resolveria completamente la cuestion.

»Para ello es necesario evidentemente renunciar al empleo de los compresores, porque seria absurdo comprimir el aire hasta la presion de 6 atmósferas, para lanzarlo despues al fondo de la galería, donde ha de dilatarse hasta llegar á la presion atmosférica; tal sistema no sostiene la crítica un solo instante.....

»En efecto, para comprimir hasta 6 atmósferas un volúmen igual á 1^{m^3} , 298 de aire comprimido, se necesita un trabajo efectivo de 53748^{km} ; por lo tanto para lanzar al fondo de la pequeña galería 4^{m^3} por segundo seria indispensable un trabajo motor igual á $53748 \frac{4}{1,298} = 104000^{\text{km}}$, ó sean 1386 caballos de vapor: los 10 compresores son insuficientes para conseguir tal resultado.

»El procedimiento que creo mas racional, para obtener la ventilacion del subterráneo, seria aprovechar el conducto de desagüe que se ha practicado en el eje de la galería, á fin de inyectar en ella por medio de una máquina el volúmen de aire que se juzgase necesario. Se podria igualmente aspirar desde la boca del subterráneo, por este canal, el aire viciado que se acumulase, el cual seria reemplazado por el aire puro que penetra directamente por dicha galería: este último procedimiento es el que con mas frecuencia se emplea en las minas.

»Hé aquí algunos cálculos que demuestran la posibilidad y la conveniencia del sistema que propongo.

»El conducto en cuestion tiene 0,75 por 0,80, ó sean 0^{m^2} , 60

»y equivale á un conducto circular de 0,874 metros de diáme-
 »tro. Supongamos que solo corresponda á una cañería de 0,85
 »metros de diámetro, y que el aire se mueva segun la ley ya
 »comprobada, tanto para el caso en que se halle fuertemente
 »comprimido, como para las tensiones adoptadas en las máqui-
 »nas de ventilacion ordinarias.

»La velocidad de salida ó la de circulacion se deduciria de la
 »fórmula

$$v \cdot \frac{\pi}{4} (0,85)^2 = 4^{m^3}; \text{ de donde } v = 7,05 \text{ metros.}$$

»Representando por h la altura correspondiente á esta velo-
 »cidad, y suponiendo,

»peso del metro cúbico de aire = $1^{kil},293$,

»peso del metro cúbico de mercurio = 13596^{kil} ,

»tendremos:

$$(7^{m},05)^2 = 2 \cdot 9,8088 h \frac{13596}{1,293}; \text{ de donde } h = 0^{m},00024.$$

»Supongamos por último la longitud estrema de 6.000 me-
 »tros.

»La fórmula de Mr. D'Aubuisson

$$h = \frac{42 \cdot H \cdot D^5}{L d^4 + 42 D^5} \quad \text{dá } H = \frac{h (L d^4 + 42 \cdot D^5)}{42 \cdot D^5},$$

»en la cual H representa la tension del aire en el origen del con-
 »ducto, es decir, la tension que debe dar al aire la máquina im-
 »pelente.

»Sustituyendo

$h = 0,00024$; $L = 6000$; $d = D = 0,85$ metros, resultará:

$$H = \frac{0,00024 [6.000 (0,85)^4 + 42 (0,85)^5]}{42 (0,85)^5} = 0,04 \text{ metros de mercu-}$$

»rio que equivale á una columna de agua de

$$0^{m},04 \times 13,596 = 0^{m},547.$$

»Así pues el aparato ventilador debe ejercer sobre el aire en
 »el origen del conducto una presion de

$$10333^{kil} \frac{0,547}{10^{m},333} = 547^{kil} \text{ por metro cuadrado.}$$

»Para un gasto de 4^{m^3} el trabajo útil por segundo será $4^{m^3} \times 547^{kil} = 2188^{km}$, o sean 29^{cv} , 47.

[En efecto, representando por A el área del conducto, la velocidad del aire será $\frac{4^{m^3}}{A}$ y la presión total, $547^{kil} \times A$; de donde resulta para el trabajo desarrollado $\frac{4^{m^3}}{A} \times 547^{kil} A = 4^{m^3} \times 547$]

»Si se consideráran suficientes 3^{mc} por segundo, un cálculo análogo al anterior daría para el trabajo necesario 12^{cv} , 40.

»A este trabajo consumido para la introducción y circulación del aire en el conducto, debe agregarse el necesario para elevar su tensión á 0,547 metros de agua sobre la de la atmósfera en el primer caso, y 0,310 metros en el segundo.

»Ambos trabajos suplementarios serán

» $\frac{3}{4}$ de caballo de vapor próximamente para el caso de 4^{mc} ;
»y $\frac{1}{5}$ de id. id. id. para 3^{mc} .

»Dichas presiones de 0,547 y 0,310 metros de agua pueden obtenerse fácilmente por medio de una máquina ordinaria.....

»El conducto de mampostería —por el cual habría de circular el aire, si se adoptase este sistema, antes de penetrar en la pequeña galería de ataque, ó después de salir de ella, en el caso de emplear el sistema de aspiración,— debería enlucirse cuidadosamente de cemento hidráulico, y debería asimismo presentar una carga suficiente para que no pudiera levantarla el aire comprimido.....

»El aparato ventilador habría de disponerse de manera que pudiera obrar, ya por impulsión, ya por aspiración, y el conducto debería llevar de distancia en distancia ventanas ó trampas para lanzar aire puro, ó aspirar el viciado, en aquellos puntos del túnel en que se quisiera sanear la atmósfera.

».....Si se diese al conducto subterráneo 1 metro de altura por 1,20 de ancho, como se trata de hacer en la parte de Modane, se hallaría el túnel en las condiciones ordinarias de las minas, y un ventilador ordinario sería suficiente, y podría emplearse con gran ventaja.

»En efecto, la sección del conducto equivaldría á la de un tubo cilíndrico de 1,23 metros de diámetro; la velocidad de

»circulacion y de salida del aire para 4^{m^3} por segundo seria 3,53
»metros , y los valores de h y H en alturas de mercurio serian
»respectivamente :

$$h = \frac{(5^{m,35})^2 \cdot 4^{kil,295}}{49,62 \cdot 13596} = 0,000054,$$

$$H = \frac{0,000054 [6\ 000 (1,23)^4 + 42 (1,23)^3]}{42 (1,23)^5} = 0^{m,0063}.$$

»Esta última columna equivale á 0,086 metros de agua , de
»suerte que la presion bajo la cual deberia ser lanzado el aire al
»conducto , ó la depresion , si se ventila el túnel aspirando los
»gases deletéreos, entra en los límites ordinarios.

».....El trabajo necesario en estas últimas hipótesis es poco
»considerable ; en efecto, la altura 0,086 metros de agua, ya so-
»bre, ya bajo la columna atmosférica, equivale á 86 kilogramos
»por metro cuadrado , y el trabajo teórico en el supuesto de 4^{m^3}
»será :

$$\frac{4^{m^3} \times 86^{kil}}{75^{km}} = 4^{cv,58}.$$

»El torrente de Rochemolle que pasa por delante de la boca
»del túnel , y que todavía no se ha utilizado , ofrece un trabajo
»disponible de 60 caballos de vapor.»

Como el objeto de este apéndice es tan solo extraer lo mas importante que sobre la perforacion de los Alpes se ha publicado , omitimos algunas observaciones que pudieran hacerse á los cálculos de Mr. Devillez sobre la ventilacion. Debemos , sin embargo , advertir, que si se acudiera para ventilar al túnel al primer sistema de los que Mr. Devillez propone, la dificultad principal , á saber , la mezcla del aire puro á los gases de la pólvora quedaria siempre en pié.

Mr. Comte resume como sigue su informe sobre el túnel de Mont-Cénis.

«Conclusiones. En vista de lo espuesto hasta aquí , ¿puede

»considerarse como resuelto el problema de la perforacion de los Alpes?

»La cuestion presenta dos clases de dificultades:

»1.º Introduccion de aire respirable en las galerías, sea cual fuere la profundidad del túnel.

»2.º Aceleracion en el trabajo.

»El primer término del problema, y sin el cual era absolutamente imposible emprender la obra, parece resuelto de una manera satisfactoria, toda vez que se comprime aire en gran cantidad, que se le puede conservar en depósitos cerrados, y conducir á distancias considerables, sin pérdida sensible de presion.....

»Se ha calculado que el consumo de aire por cada punto de ataque será de 82,000^m c por dia, y á este fin en cada lado se han de establecer 10 compresores de choque y 6 compresores de bomba, que podrán comprimir en 24 horas,

los 10 compresores de choque.	70,000 ^m ³
los 6 compresores de bomba.. . . .	42,000

TOTAL.	<u>112,000</u>
----------------	----------------

»es decir, un 37 por 100 sobre el volúmen que se supone.

»Al terminar las explosiones se abren las llaves de los tubos de aire comprimido el cual penetra en la galería y arroja rápidamente de esta al aire viciado; pero aunque el fondo de ataque queda en buenas condiciones de ventilacion, grandes masas de humo avanzan lentamente hácia la boca de la galería, y molestan en extremo á los obreros empleados en la estraccion de escombros, hasta el punto de obligarles á veces á suspender el trabajo.

»Se ha tratado de remediar este inconveniente, del lado de Bardoneche, estableciendo, para hacer tiro, una especie de chimenea que comunica con la pequeña galería de ataque por el conducto central del túnel. El tiro de la chimenea se consigue por medio de un ventilador. (1)

(1) Segun parece, dice Mr. Comte en una nota de su memoria, la idea de

»La mayor parte del aire viciado tendrá, pues, una salida especial, y los obreros libres del humo que tanto les molesta actualmente, podrán acelerar su trabajo. Considero, pues, resuelto, en principio, el problema de la ventilacion....

»El segundo término de la cuestion no se halla tan avanzado y esto se comprende fácilmente: no basta inventar aparatos, es preciso ponerlos en movimiento. Son necesarios 15 obreros diestros en el manejo de las máquinas para el servicio de los perforadores, y como se efectúan dos operaciones por día, el personal necesario, solo para la parte de Italia, se eleva á 30 hombres, y se elevará próximamente á 70 cuando se trabaje en la parte de Francia tambien; pero claro es que requiere mucho tiempo la instruccion y preparacion de un personal tan numeroso....

»He dicho que en la parte de Bardoneche cada explosion corresponde á un avance de 0,80 á 0,90; que se emplean 6 horas para perforar los barrenos y 4 para el resto de las operaciones; en suma, 10 horas por cada período de trabajo.... El avance debia ser, segun estos datos, de 1,^m7 por día ó próximamente 52^m cada mes; pero resulta de las noticias que nos han suministrado, que hasta el presente no ha sido superior á 35^m, con lo cual se necesitarian aun 12 años para perforar los 40200^{ms} que restan....

»Por último, sobre el carro de los perforadores pueden colocarse diez de estos, y sin embargo hasta hoy solo han funcionado ocho: cuando el personal destinado á este servicio se ejercite en él y puedan montarse dos perforadores mas, podrá indudablemente acelerarse el trabajo, y se concibe que llegarán á darse 3 voladuras en vez de las 2 que hoy se dan....

chimeneas de tiro que absorvan los gases deletéreos es debida á Mr. Boreli.

Pero además de este medio, Mr. Sommeilleur se propone establecer varias máquinas hidráulicas en cada extremo del túnel, que suministren de 6 á 10 metros cúbicos de aire por segundo. No conozco todavía, agrega Mr. Comte, ni el principio en que se fundan dichas máquinas, ni su manera de funcionar; tan solo sé, que tienen por objeto hacer que desaparezca el humo que hoy tanto molesta á los obreros, y procurar de este modo una buena ventilacion para las galerías.

»Con el empleo de las máquinas se obtiene una notable
»aceleracion sobre la que darian los procedimientos ordinarios,
»pero la ventaja obtenida no llega ni con mucho á la que en un
»principio se supuso. ¿Podrá llegarse á tales resultados?

»Espero que así sea, y creo que en el momento actual el
»mayor obstáculo que halla el eminente ingeniero encargado
»de la direccion de los trabajos, consiste en la falta de obreros
»capaces de poner en ejecucion los procedimientos adoptados.
»Sea como quiera, la empresa del túnel de los Alpes es un
»magnífico trabajo, que hace honor al ánimo esforzado, á la
»energía, y á la inteligencia de los que han osado acometer tan
»difícil empresa.

»El informe anterior es un resumen de los trabajos ejecu-
»tados hasta el mes de agosto de 1862; posteriormente á esta
»fecha se han establecido los perforadores correspondientes al
»lado de Francia. Han comenzado á funcionar el 25 de enero
»de 1863, y tras algun desórden, que pronto desapareció, han
»marchado con la mayor regularidad: el término medio del
»avance diario correspondiente al mes de marzo, ha sido de
»1^m,10, y el de los 8 primeros dias de abril, 1^m,40. Considero
»este resultado como escepcional, pero sea como fuere parece
»demostrar cuando ménos que las dificultades no van hasta
»hoy en aumento.

XIX.

MM. Schwartzkopf y Philipppson han inventado un perfora-
dor que difiere notablemente del de Mr. Sommeilleur, tanto por
la disposicion de sus diferentes órganos, como por la manera de
actuar el útil.

Como complemento de la perforacion de rocas por medio de
máquinas, tomamos de la publicacion industrial de Mr. Armen-
gaud la siguiente noticia sobre este nuevo mecanismo.

Descripcion del perforador. Este perforador se compone de dos partes, una fija, otra móvil á lo largo de la primera.

Parte fija. Se compone figs. 82 y 84 de los siguientes elementos:

BB bastidor en forma de media caña cuyo extremo D se sujeta por medio del tornillo *b* á la armadura L, fig. 86.

V fig. 82 y 84, tornillo que gira dentro del marco ó bastidor B y está sujeto por el pequeño tornillo *v* y el collar *v'*.

R engranage de ángulo, que por medio de la manivela *r'*, fig. 86, comunica un movimiento de rotacion al tornillo V.

Parte móvil. Toda la parte móvil del aparato va unida á la tuerca *d*, figs. 82 y 84, que corre á lo largo del tornillo V. De este modo el movimiento de rotacion de la manivela *r'*, fig. 86, se convierte en un movimiento longitudinal de avance ó retroceso para la tuerca *d*, la placa A, y el resto del perforador.

A placa que se une á la tuerca *d* por el tornillo *d'*, y al cilindro motor C por los tornillos *a* *a'*.

C cilindro motor.

P émbolo sobre el cual actúa el aire comprimido.

T varilla del émbolo.

H varilla de acero á cuyo extremo *m* se sujeta la barrena.

Sobre la cabeza *r* de esta varilla golpea el extremo del bástago T del émbolo, oprimiendo al útil contra la roca, al propio tiempo que por el intermedio de la rueda *r'* recibe, dicha varilla H, un movimiento continuo de rotacion.

Cuando el extremo del bástago T abandona á la cabeza *r* de la varilla H, el resorte *h* hace retroceder á esta última.

E pieza que guía el movimiento del bástago T: su extremo superior desliza en una ranura de la placa A, su extremo inferior corre sobre una varilla fija *e*.

E' figs. 82 y 85, pieza unida á la E y que desliza con ella: sobre las superficies inclinadas que la terminan desliza la ruedecilla *g*, y de este modo recibe un movimiento circular alternativo en el eje T'.

T' eje que hace girar á la llave de distribucion R.
t conducto de entrada del aire comprimido.

t' conducto de salida.
c { conductos de comunicacion del cilindro motor C con la llave
c' { de distribucion R.

Cuando la llave ocupa la posicion que indica la fig. 84, el aire comprimido pasa libremente del conducto *t* al *c*, los cuales están en comunicacion por el hueco *r*, y hace retroceder al émbolo: al propio tiempo el aire que ha actuado en la semi-oscilacion anterior sobre la cara opuesta, sale por los conductos *c'* y *t'*—puestos en comunicacion por el rebajo *r'*,—á la atmósfera. Efectos análogos se verifican en la semi-oscilacion siguiente.

La varilla *T'*, al propio tiempo que sirve para la distribucion del vapor, trasmite por la palanca *f* á la rueda *r*, fig. 85, y por esta al útil *m*, un movimiento continuo de rotacion.

Instalacion y trabajo de la máquina. La barrena se une para su instalacion en la obra, á una columna hueca de fundicion M, fig. 86, por el intermedio de la pieza L.

Esta última se compone de dos brazos que atraviesa el eje D, el cual penetra al propio tiempo en el collar D (fig. 82) del perforador. Todo el perforador puede girar al rededor de dicho eje, y se le sujeta en la posicion conveniente por el tornillo *b*.

Contra la columna M y á todo lo largo de ella corre una cremallera PP unida por sus extremos á dos collares, de suerte que dicha cremallera pueda girar libremente al rededor de M siguiendo el movimiento de la pieza L. Esta lleva un piñon *o* que engrana con la cremallera P, y un tornillo *b* para fijar todo el mecanismo en la posicion mas conveniente.

De este modo el perforador tiene un movimiento de rotacion al rededor del eje horizontal D, y puede tomar todas las inclinaciones desde 0° á 180; otro movimiento de rotacion al rededor de M; y por último, un movimiento vertical por medio del piñon *o*.

La columna M se sujeta fuertemente al suelo y á la parte superior de la galería por las piezas *n*, *n'*, fija la primera, móvil la segunda en el sentido longitudinal del eje por medio de una tuerca, y armadas ambas de dientes ó garras que se clavan en la roca.

Uniendo al eje *o* un par de ruedecillas *O*, un hombre puede conducir cada perforador con su parte adicional *M L* al sitio en que ha de colocarse.

Para facilitar el servicio de las máquinas, Mr. Schewartzkopf construye bombas locomóviles de compresion, que pueden alimentar de aire comprimido dos perforadores y cuyo precio no es muy elevado.

El precio de cada perforador, sin su columna, es de 3,330 francos; el de la máquina locomóvil de compresion, 8,510 francos.

El aparato perforador dá de 1,20 á 1,40 golpes por minuto y en este tiempo el útil puede penetrar en piedras homogéneas y poco duras de 18 á 20 centímetros, practicando barrenos de 3 á 5 centímetros de diámetro. En el granito mas duro de Noruega, el avance no pasa de 30 á 35 milímetros.

FIN.

ÍNDICE.

Páginas.

Observacion importante.	5
Advertencia.	7
Introduccion	9
Paso de los Alpes por Mont-Cenis.	12
Parte histórica del sistema de ejecucion.	14
Dificultades que ofrece.	15
Idea general del sistema.	24

Compresor hidráulico : tubos de conduccion : obras accesorias.

COMPRESOR HIDRAULICO.	28
Primera cuestion : trabajo necesario para reducir seis decímetros de aire atmosférico a un decímetro cúbico.	53
Segunda cuestion : cálculo del efecto útil del compresor.	56
Tercera cuestion : aire necesario para la perforacion.	44
TUBOS DE CONDUCCION.	49
Tabla de pérdidas de presión.	53
DESCRIPCION DE LOS COMPRESORES Y OBRAS ACCESORIAS.	56
Lado de Bardoneche.	57
Estado de las obras en agosto de 1860.	70
Lado de Modane.	72

Aparatos para la perforacion.

PERFORADORES.	74
Primera condicion : movimiento longitudinal alternativo de la barrena.	81
Segunda condicion : movimiento circular continuo de la barrena.	id.
Tercera condicion : movimiento longitudinal del cilindro.	82
Cuarta condicion : relacion entre el movimiento de la barrena y el del cilindro.	84
Quinta condicion : modo de evitar los choques, etc.	89
Sesta condicion : movimiento de retroceso del aparato.	id.
Caja de distribucion, etc.	92
Movimiento de rotacion del eje q.	95
Descripcion general.	id.

	<u>Páginas.</u>
<i>Dimensiones y peso de los perforadores.</i>	95
<i>CARRO DE LOS PERFORADORES.</i>	96
<i>Efecto útil de los perforadores.</i>	100
<i>Detalles sobre los trabajos de perforacion.</i>	105

Principales objeciones contra el sistema de perforacion.	106
Resúmen y conclusiones.	121

[Notas.

<i>Primera:</i> teoria del compresor.	125
<i>Segunda:</i> altura limite del depósito regulador.	159
<i>Tercera:</i> aparato de Mr. Minotto.. . . .	140
<i>Cuarta:</i> cálculo del diámetro de los sifones.	145
<i>Quinta:</i> perforador de Mr. Bartlett.	144
<i>Sesta:</i> coste del túnel.	146

Apéndice.

I. Trazado del eje del túnel.	151
II. Alineaciones.. . . .	152
III. Pendientes y alturas sobre el nivel del mar.	155
IV. Noticia histórica sobre el empleo del aire como fuerza motriz.. . . .	id.
V. Aparato de Mr. Bartlett.	154
VI. Forma y dimensiones del túnel y de la galería de ataque.—Cuneta de desagüe.—Revestimiento.. . . .	id.
VII. Efecto útil de los compresores.	157
VIII. Marcha del aire comprimido por la cañería.—Pérdidas de presión.—Fórmula de D'Aubuisson.	160
IX. Masa de agua disponible en el lado de Bardoneche.	161
X. Dimensiones de los compresores de choque.—Complemento de su teoria matemática.	id.
XI. Detalles sobre los compresores.—Dimensiones.—Válvulas.—Mecanismo para darles movimiento.—Depósitos de aire comprimido.	165
XII. Tubos de conduccion del aire comprimido.—Uniones.	169
XIII. <i>Mecanismo de la parte de Modane.</i> —Compresores de choque.—Ruedas hidráulicas.—Bombas de elevacion.—Nuevas bombas ó compresores del aire.—Efecto útil de los compresores de aire.—Plano inclinado automotor.	171
XIV. Nuevo sistema de perforacion.. . . .	180
XV. Descripción del primer tipo de perforadores.	id.
XVI. Segundo tipo de perforadores.	184
XVII. Carro de los perforadores.—Efecto útil.	185
XVIII. Organización de los trabajos.—Ventilación.	189
XIX. Perforador de Schwartzkopf y Philippson.	202

Fig. 1.

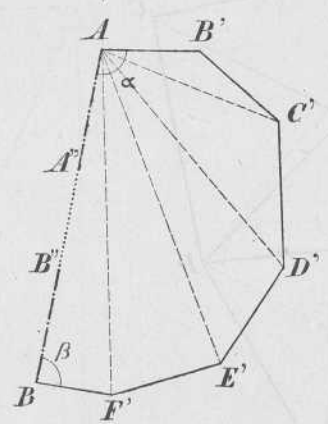


Fig. 2.

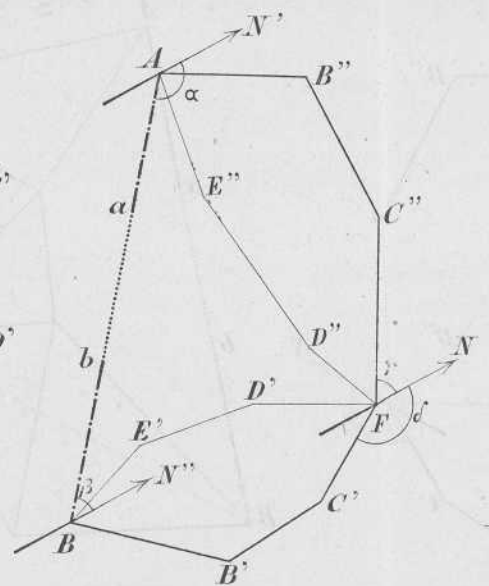


Fig. 3.

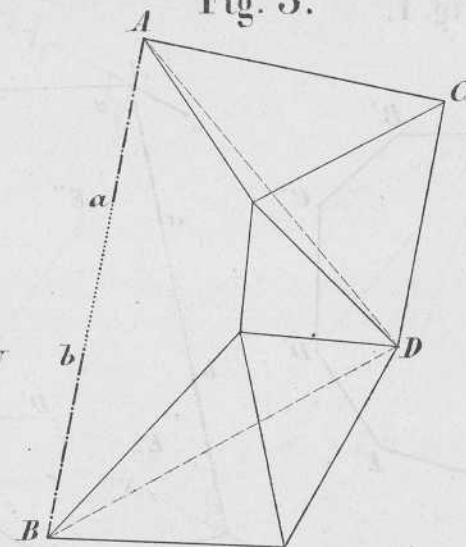


Fig. 4.

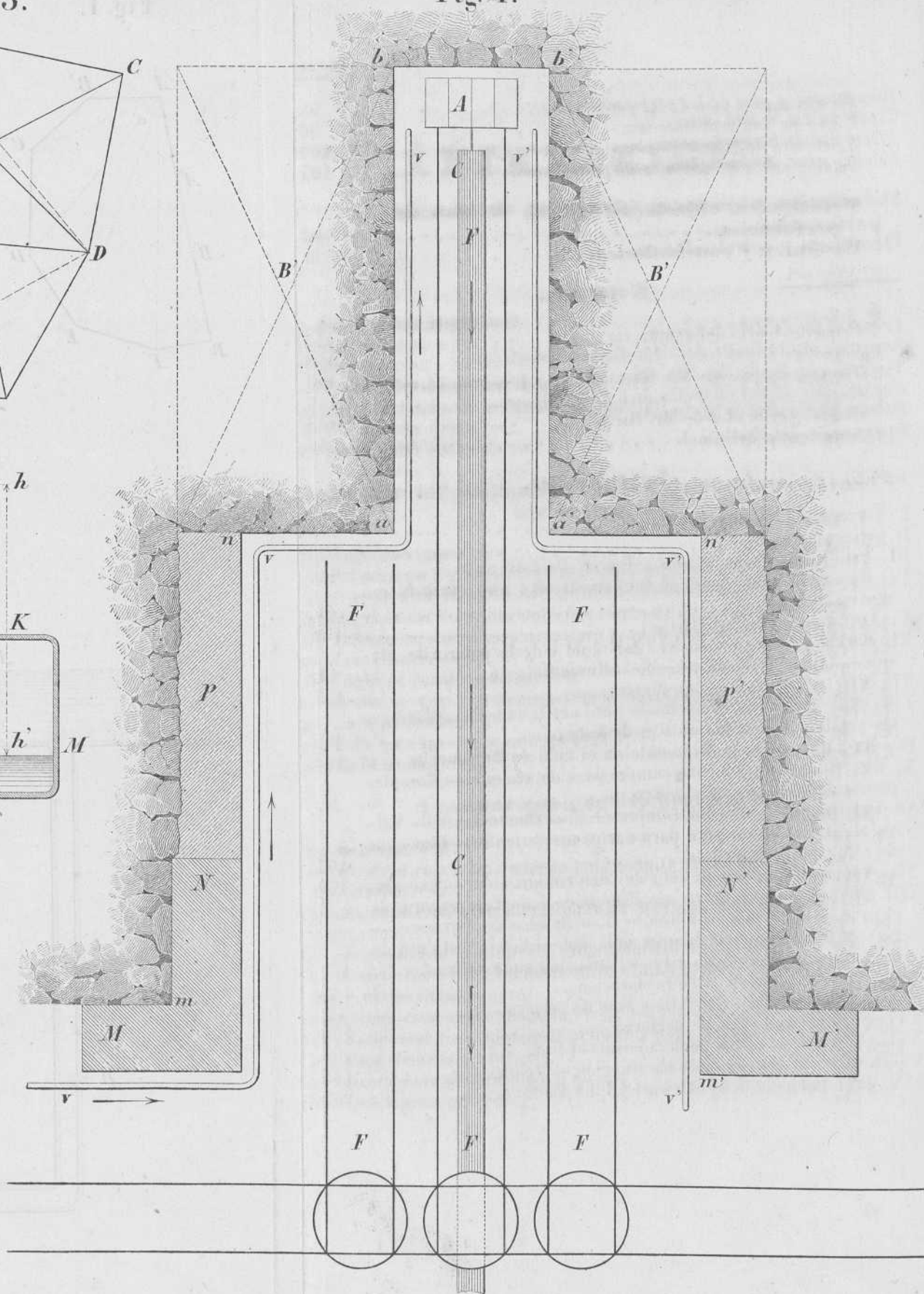


Fig. 5.

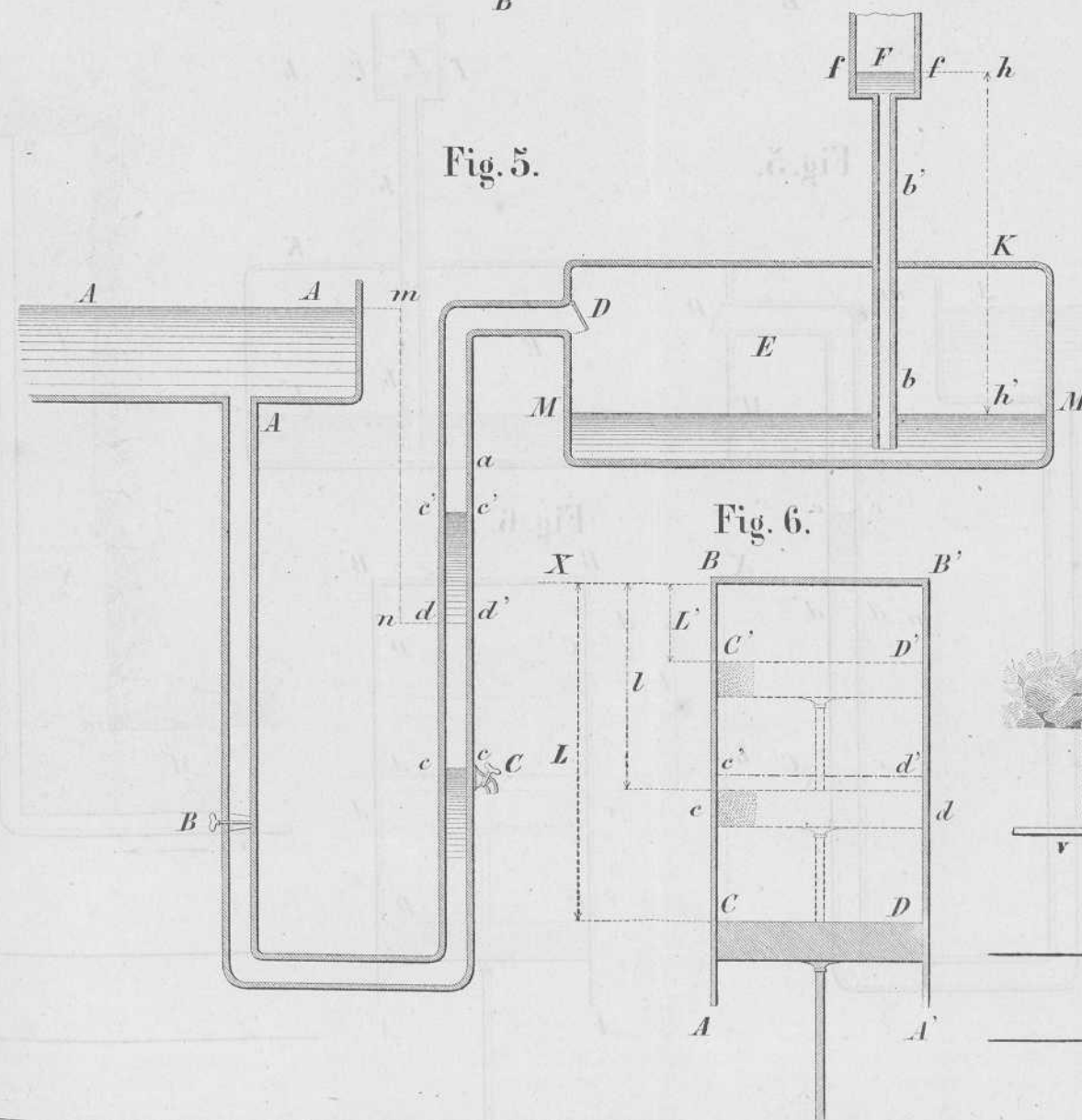
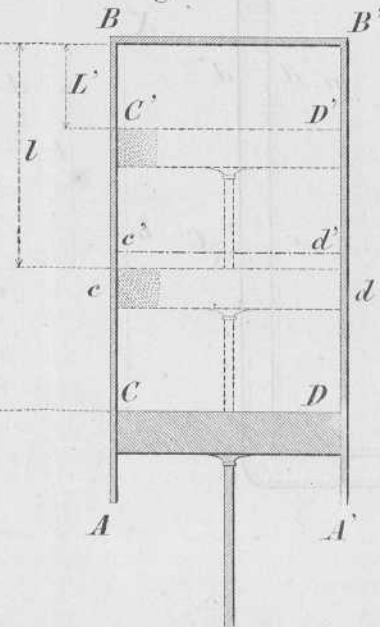
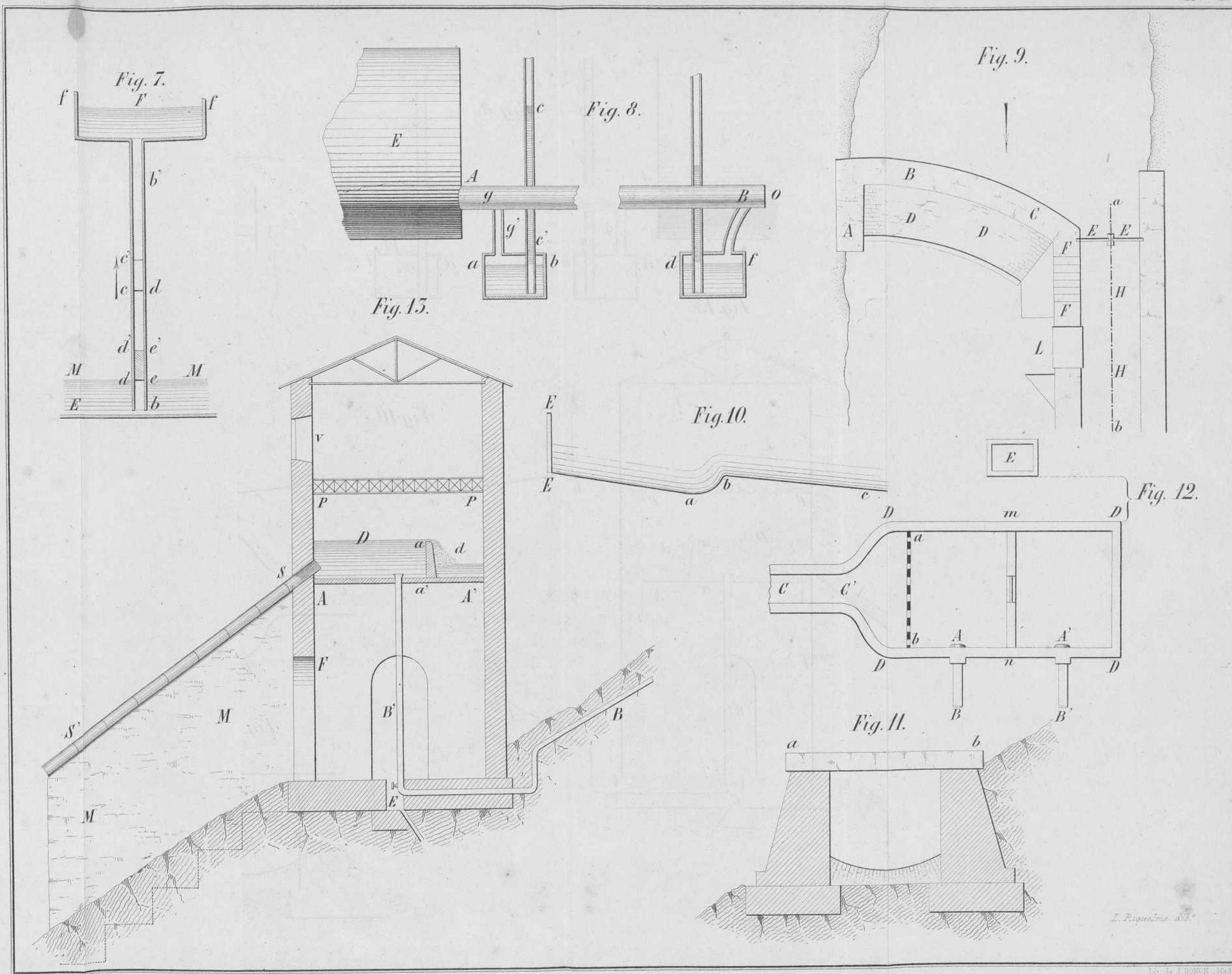


Fig. 6.





L. Paqueline del.



Fig. 14.

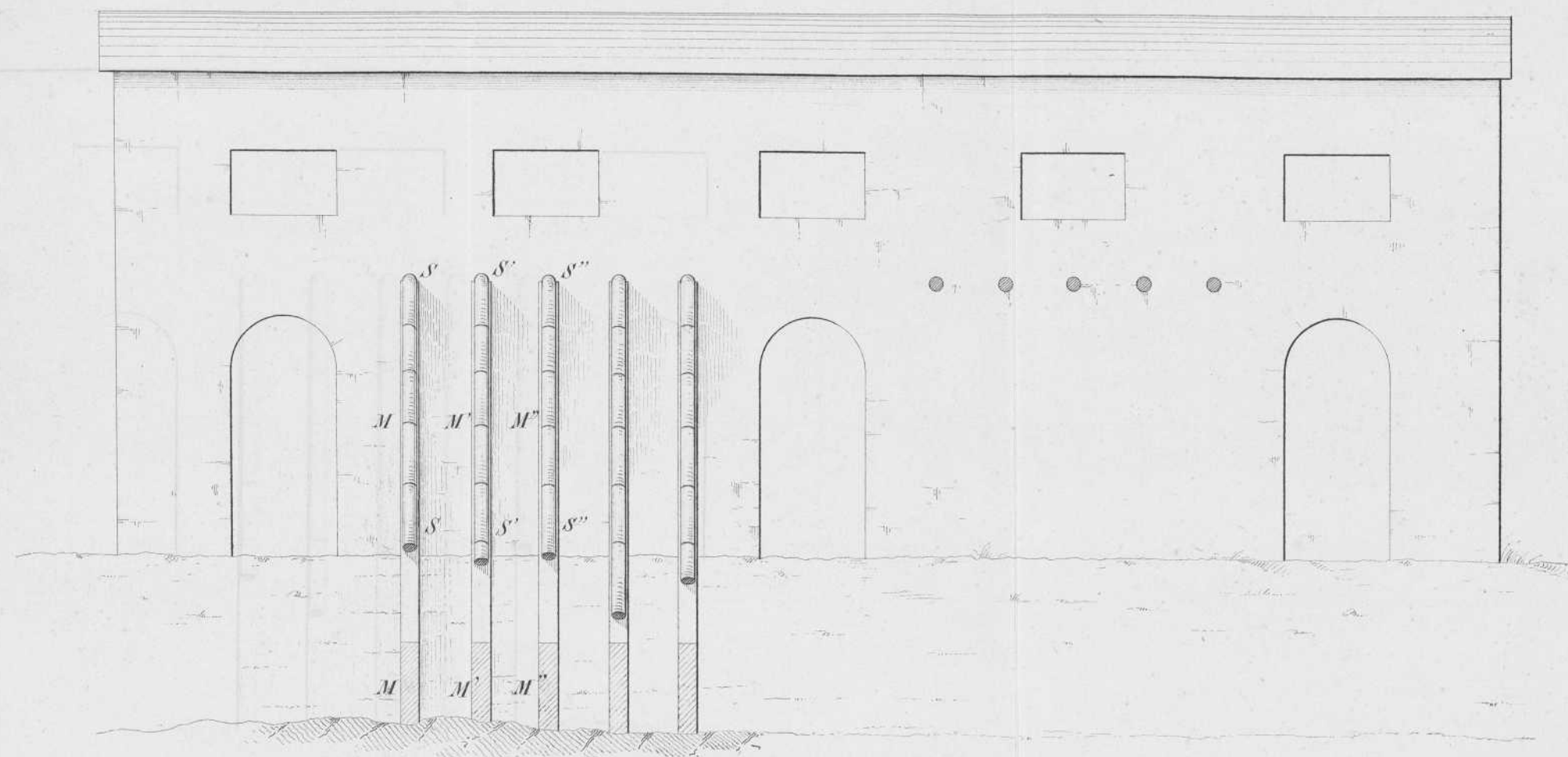


Fig. 15.

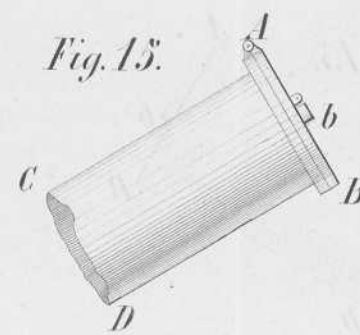
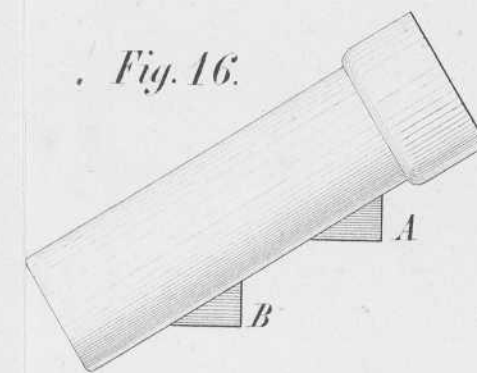
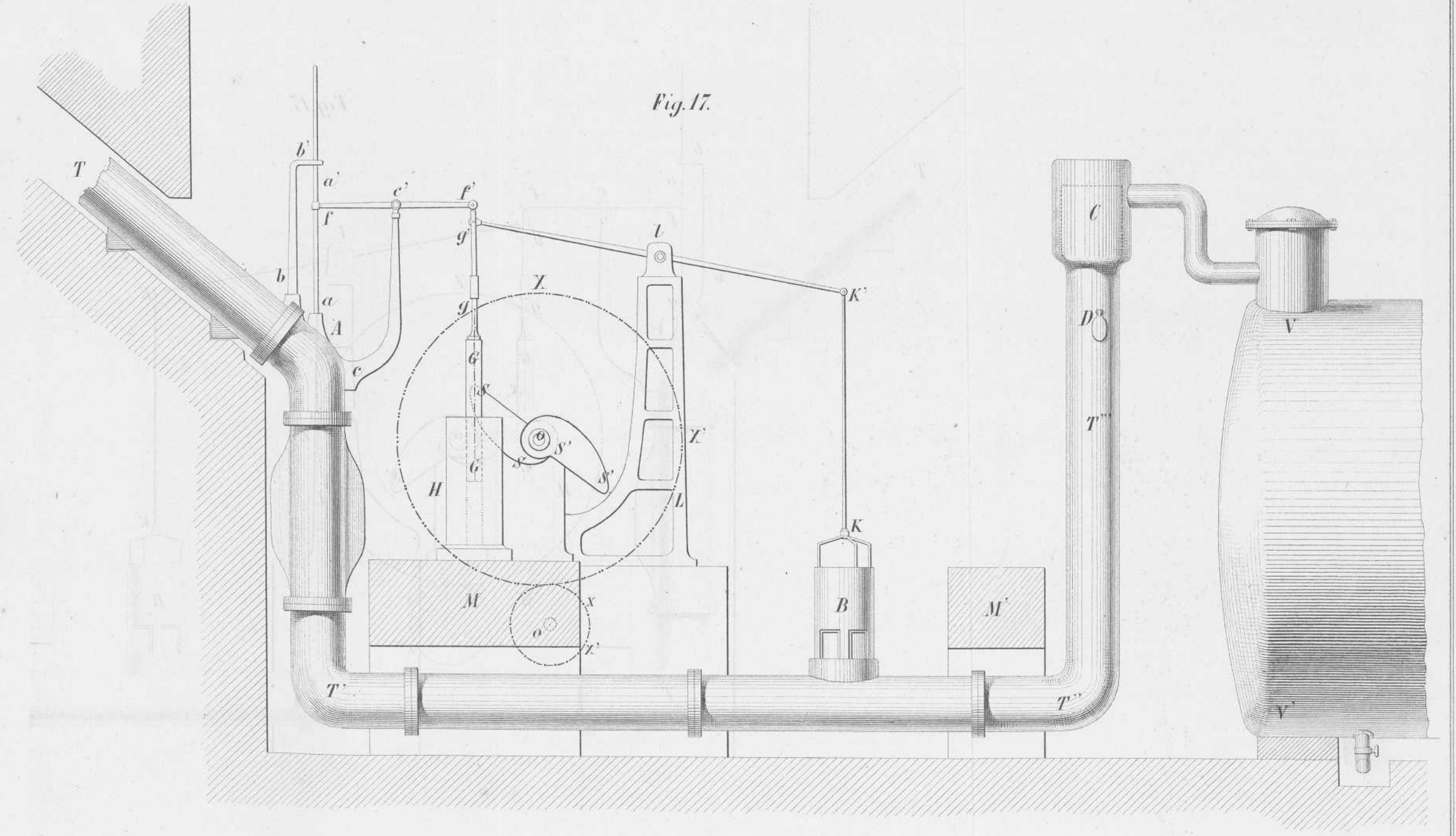


Fig. 16.

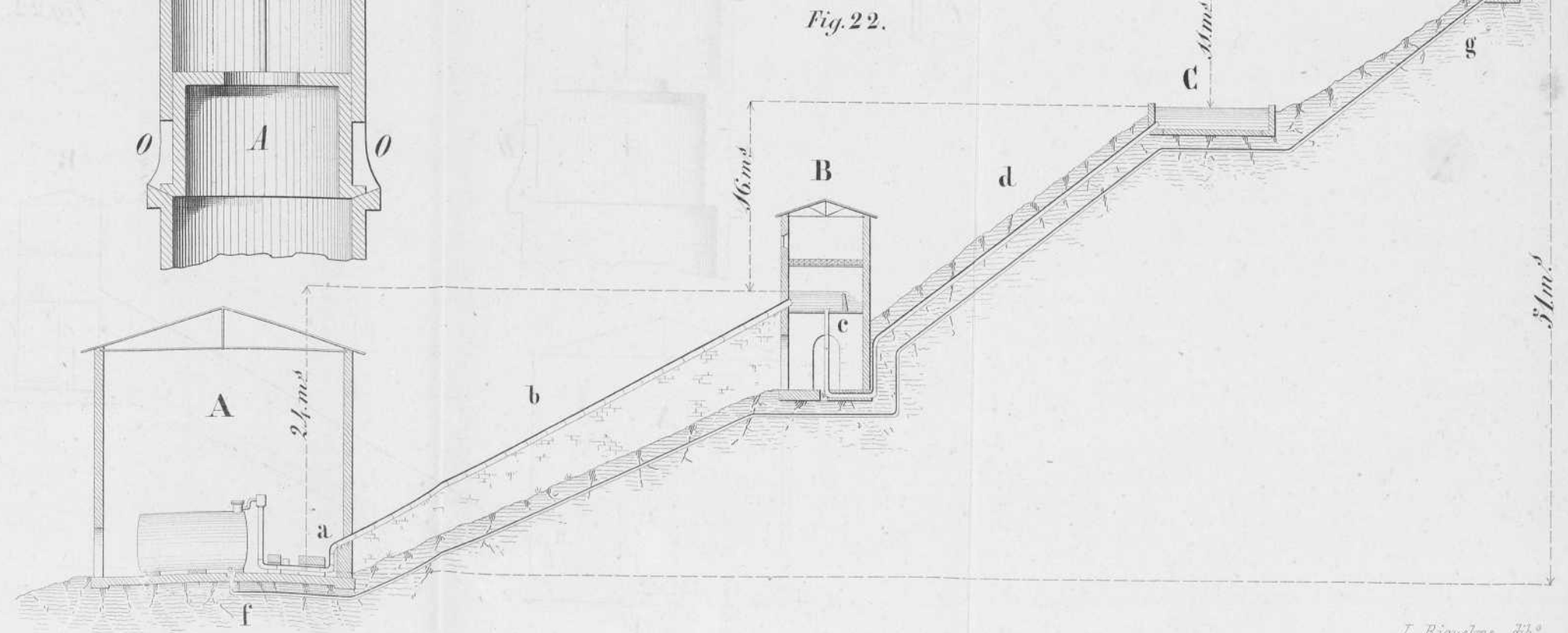
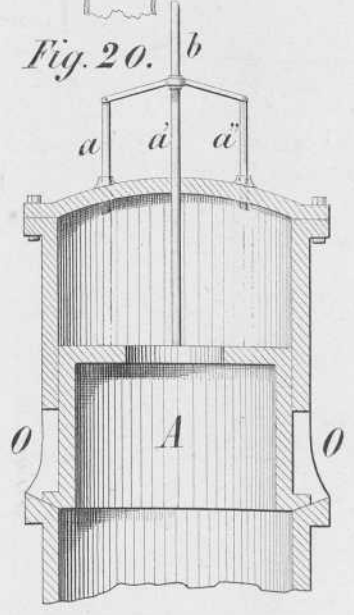
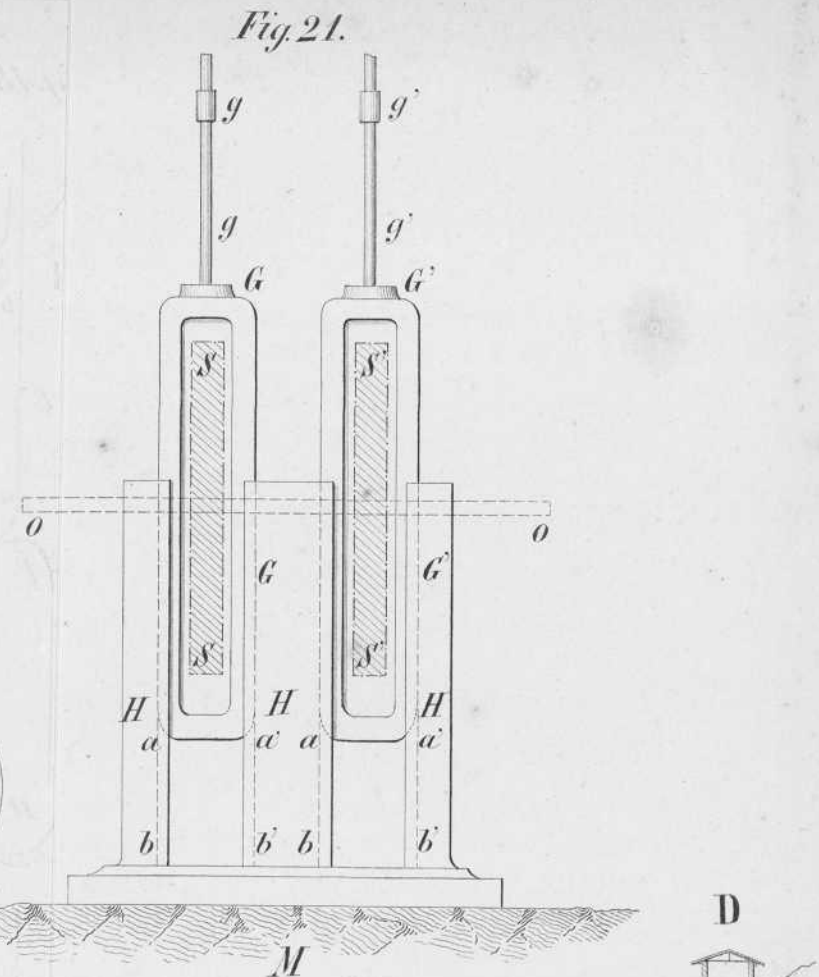
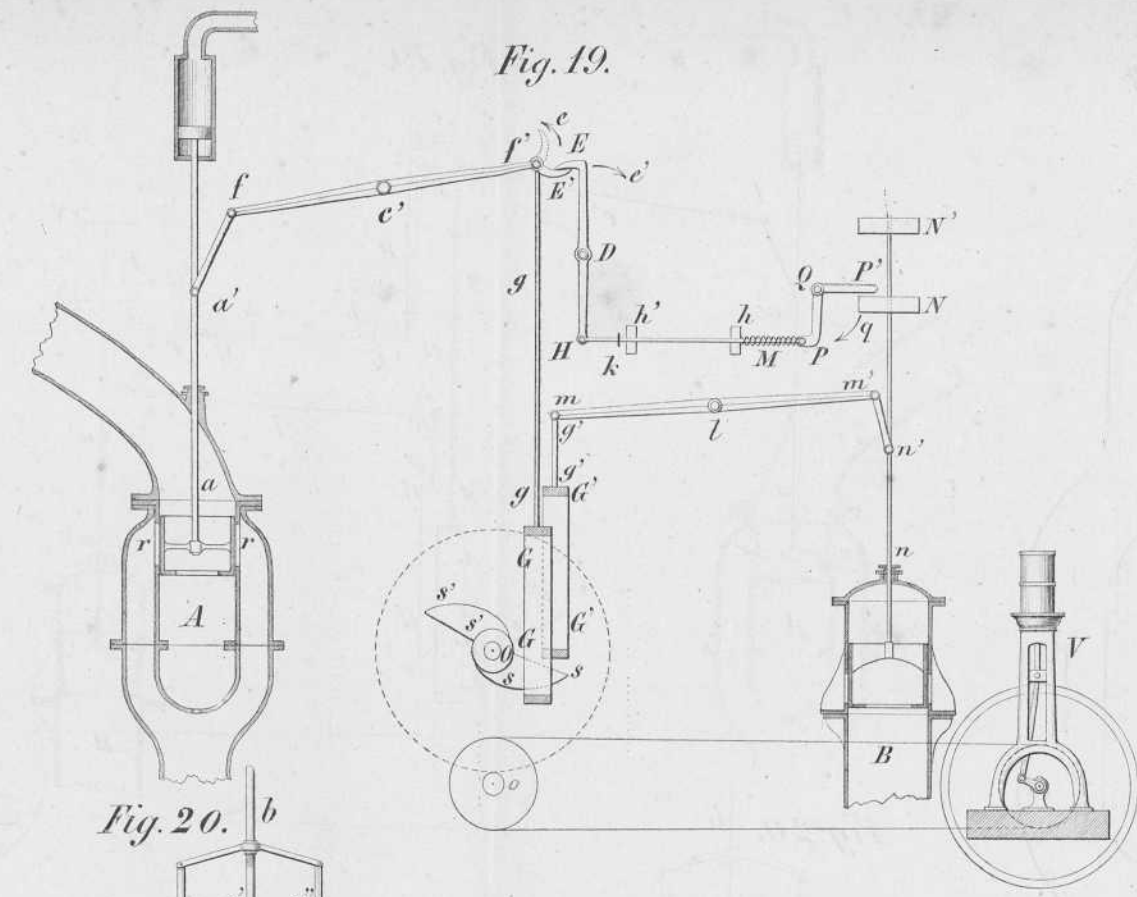
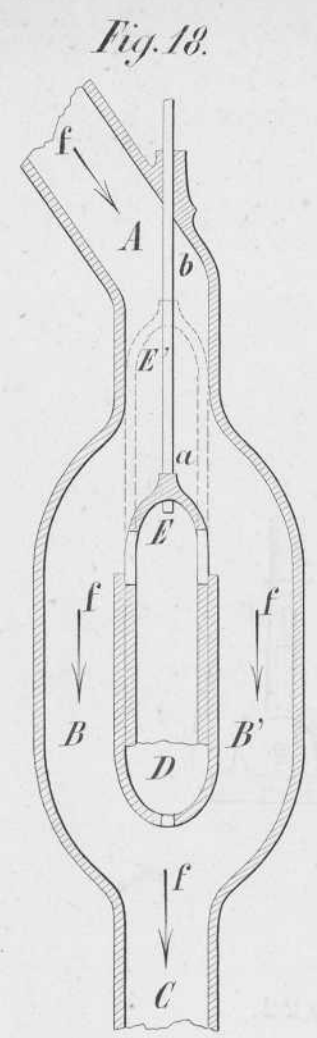


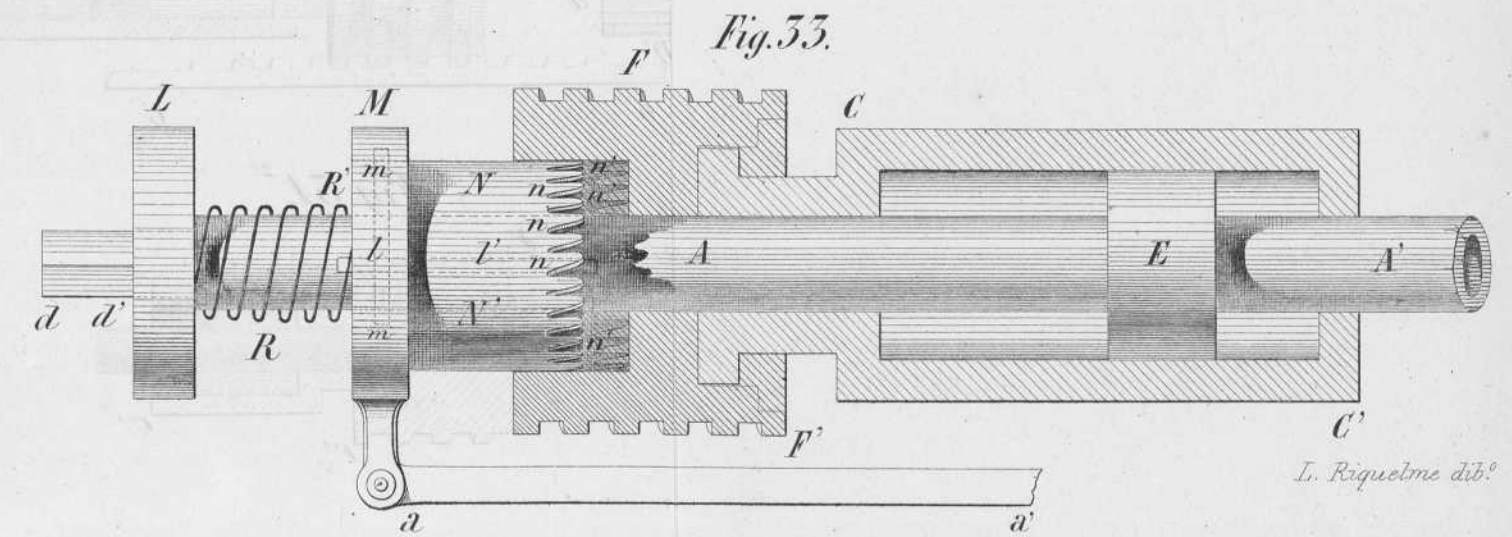
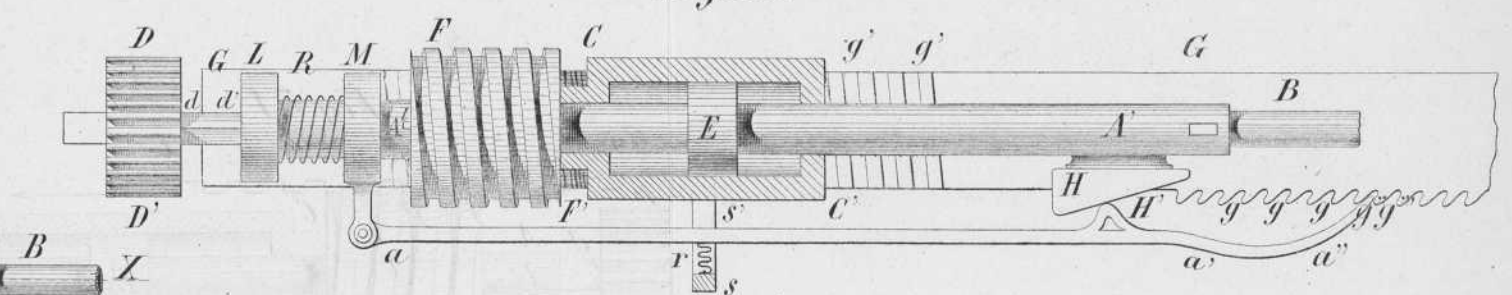
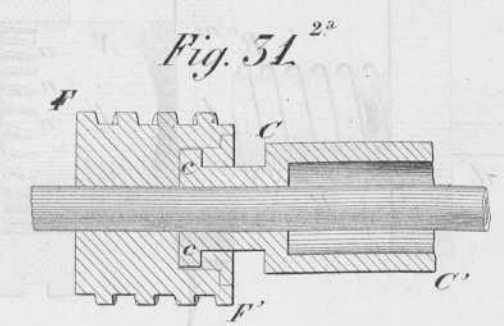
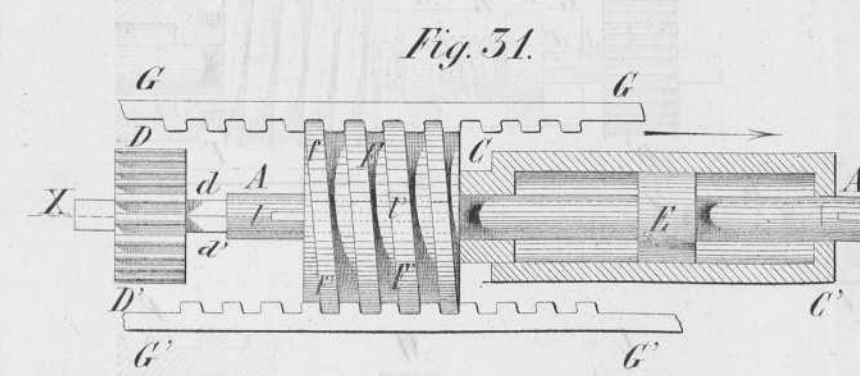
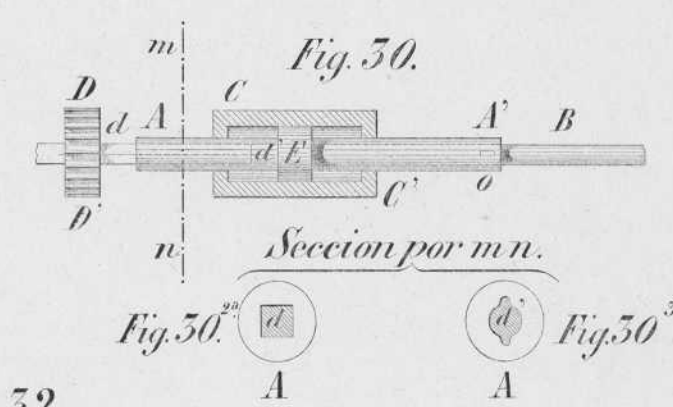
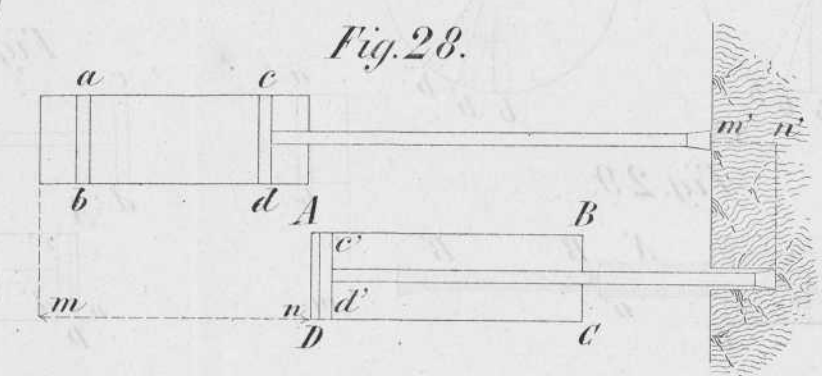
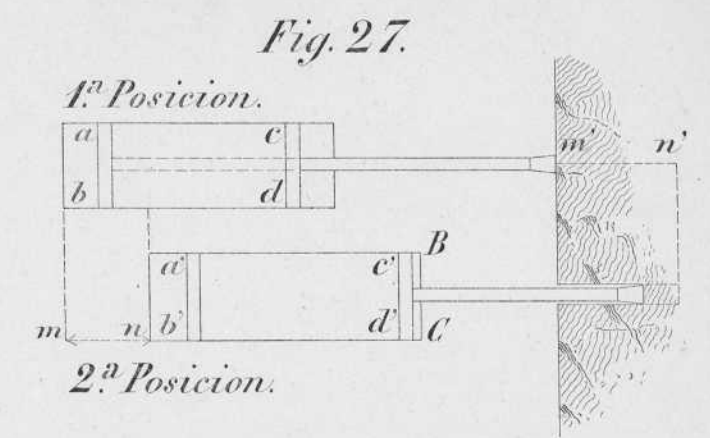
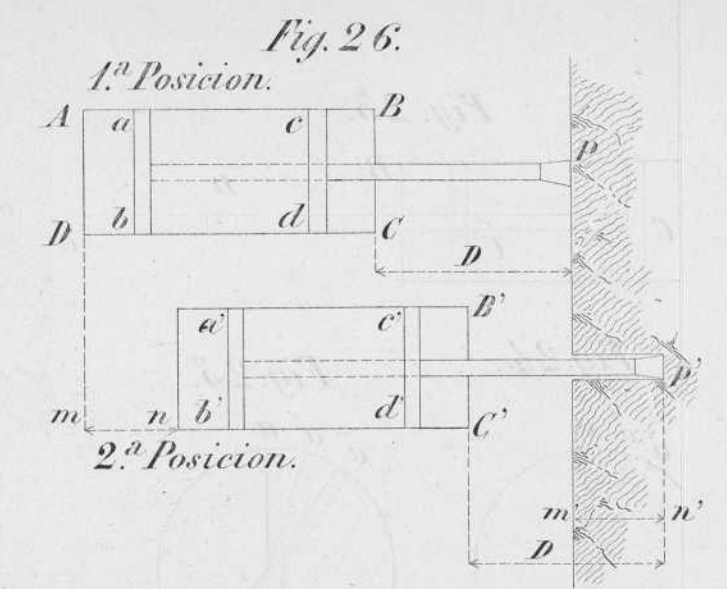
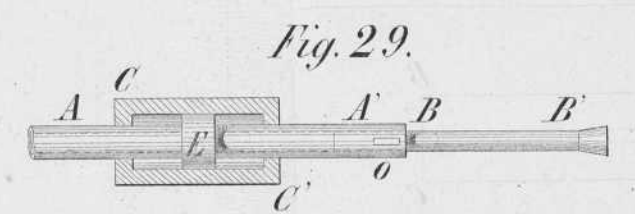
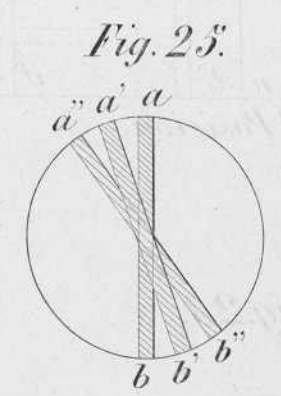
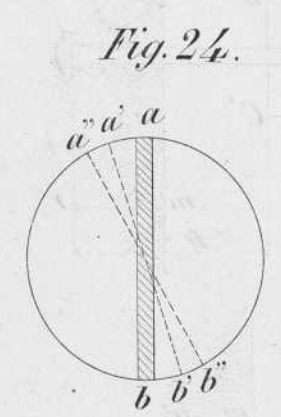
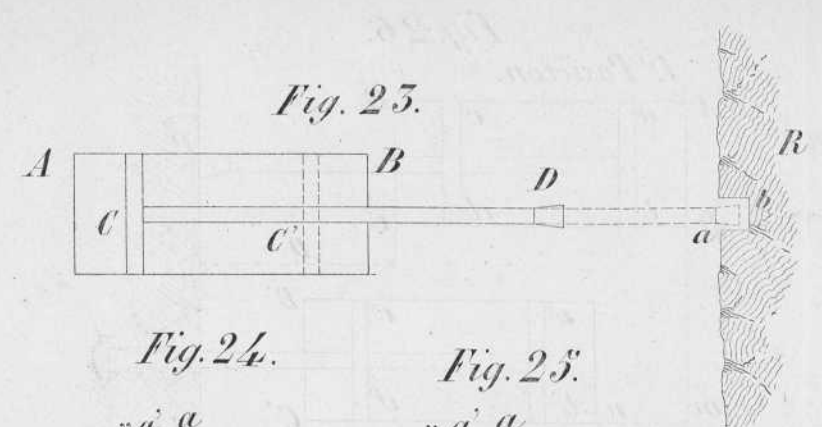
L. Riquelme del.

Fig. 17.



L. Riquelme dib.





L. Riquelme dib.º

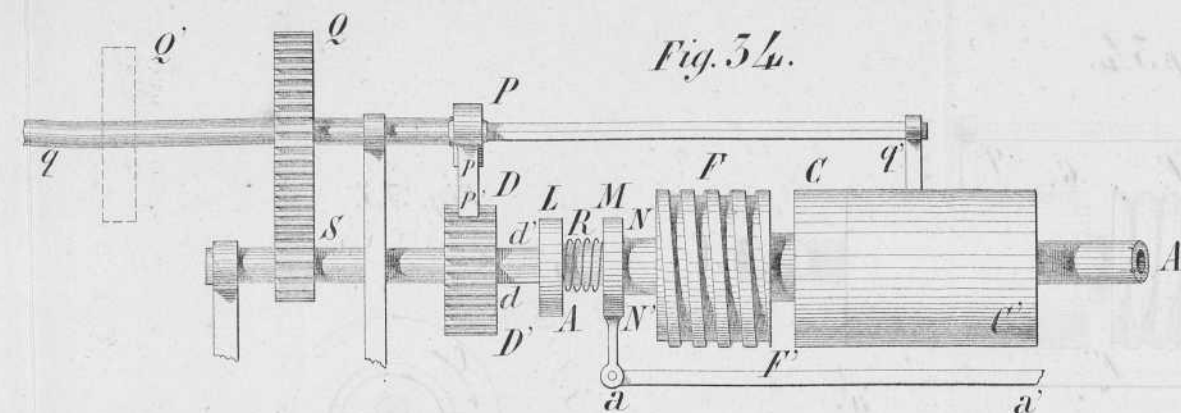


Fig. 56.

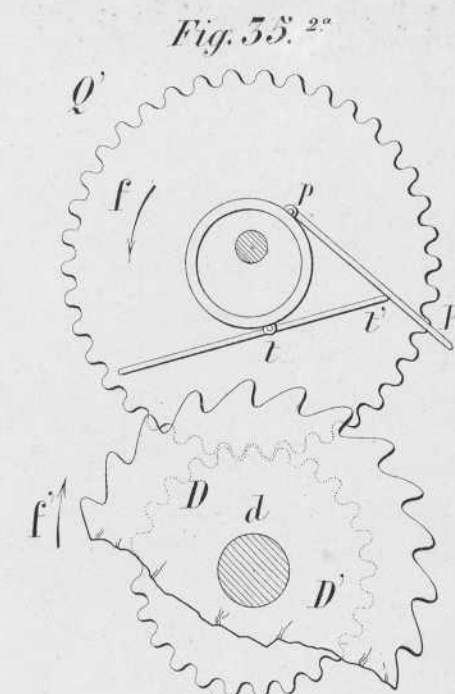
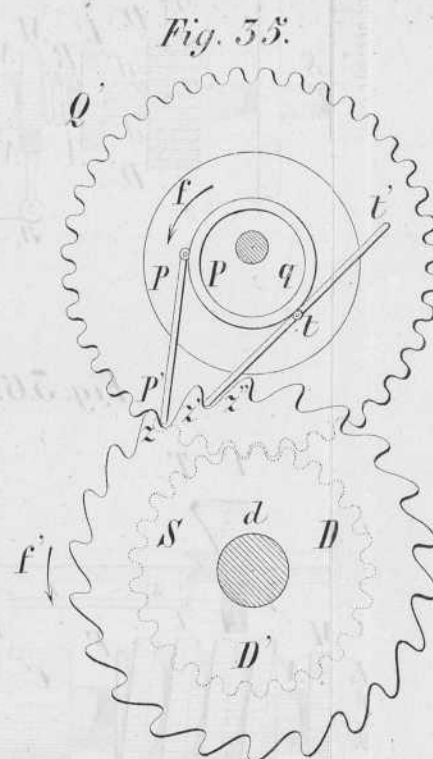
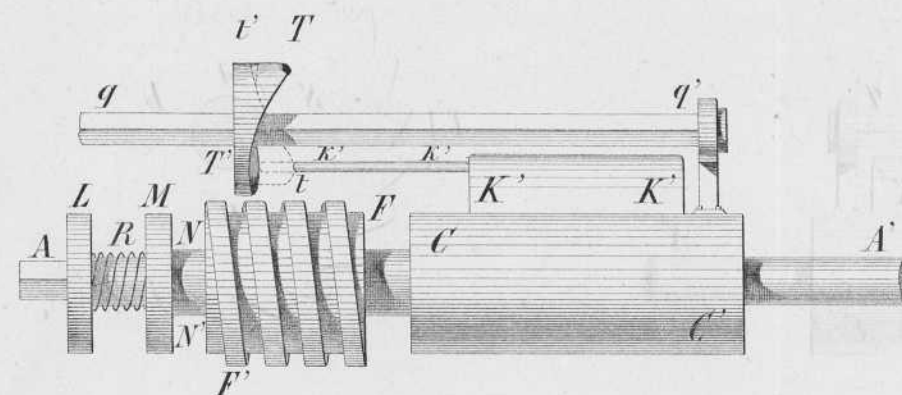
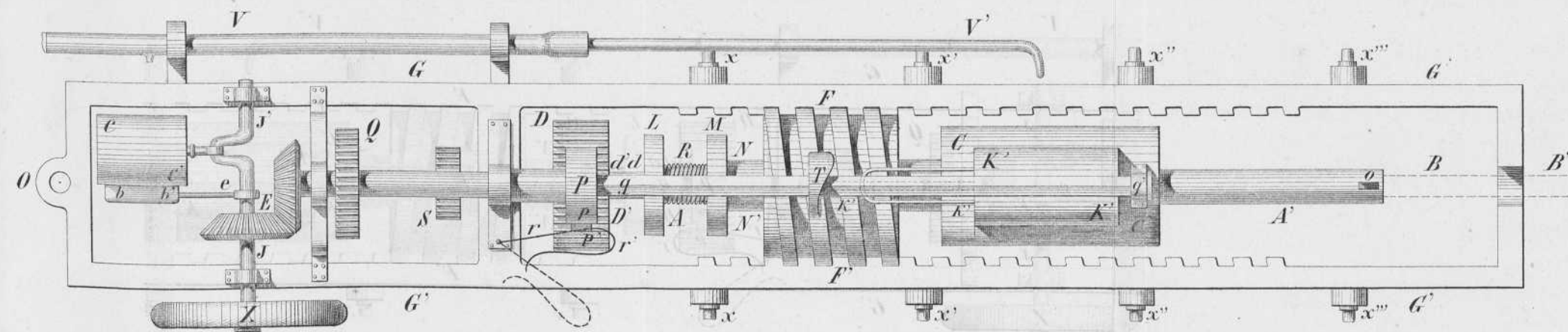
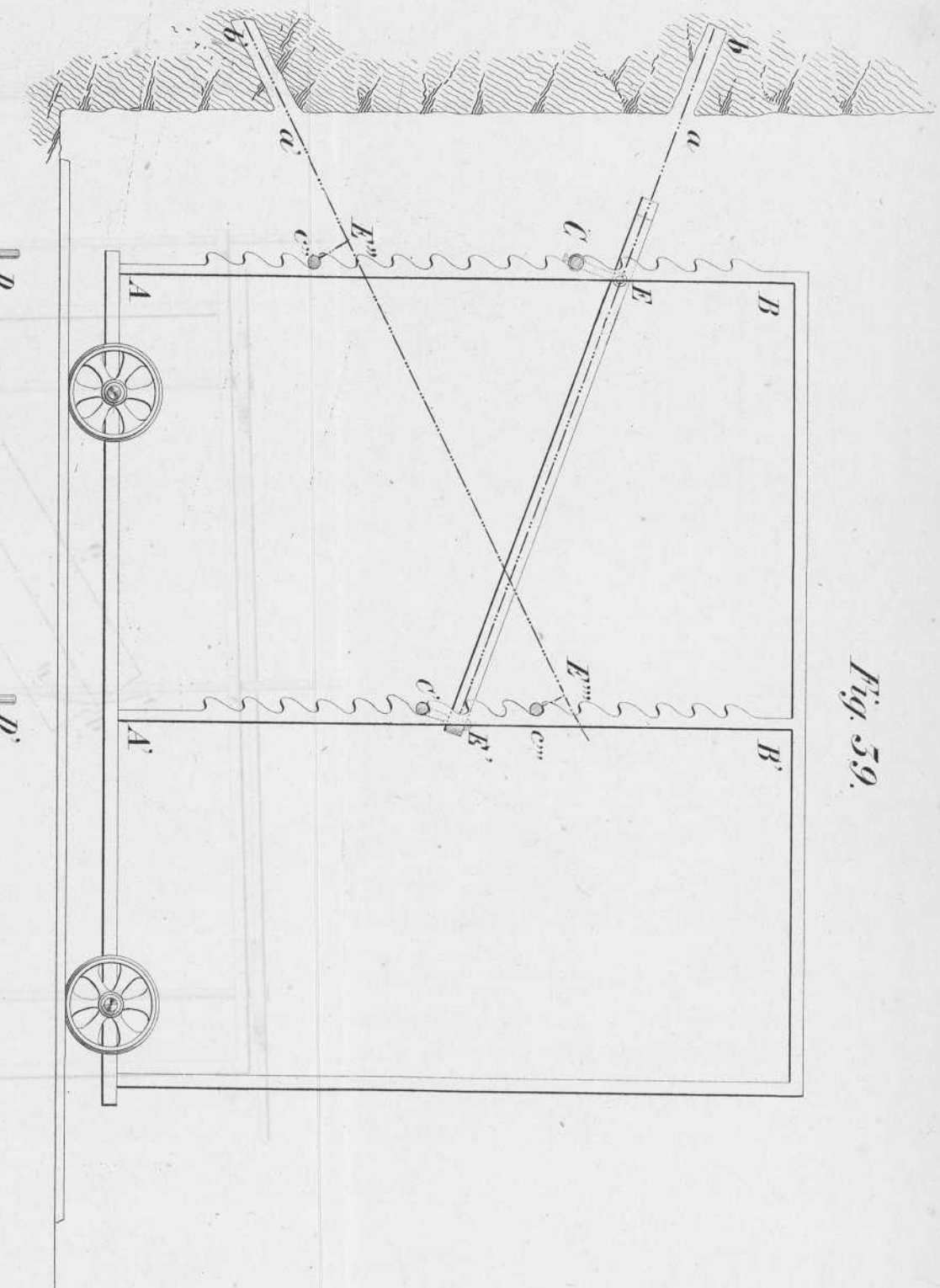


Fig. 57.



L. Riquelme dib.^o

Fig. 59.



L. Riguelme dib.^o

Fig. 40.

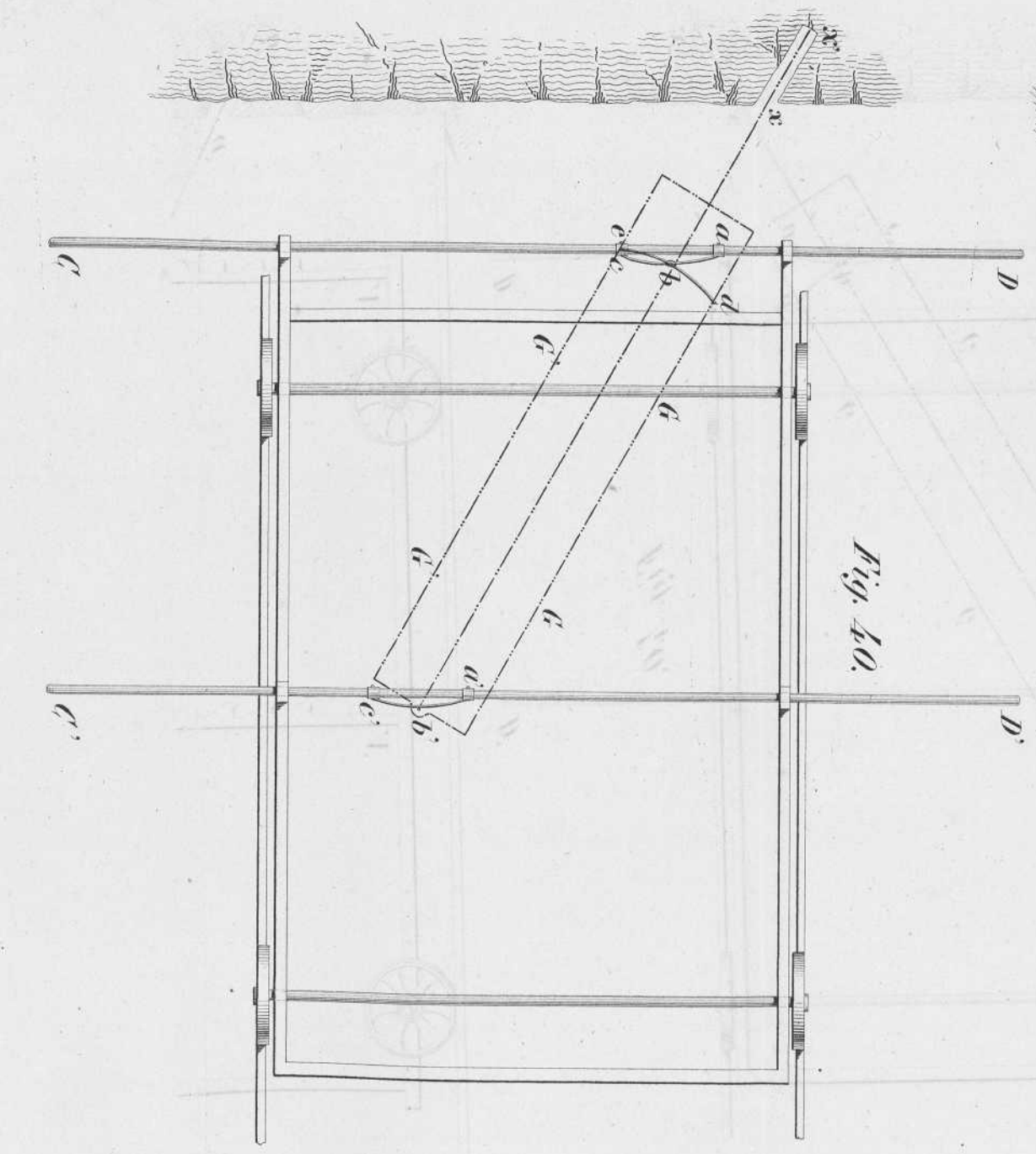


Fig. 41.

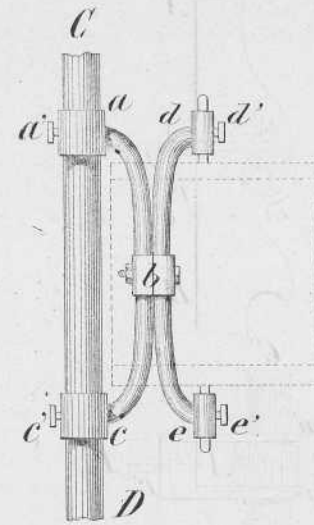


Fig. 43.

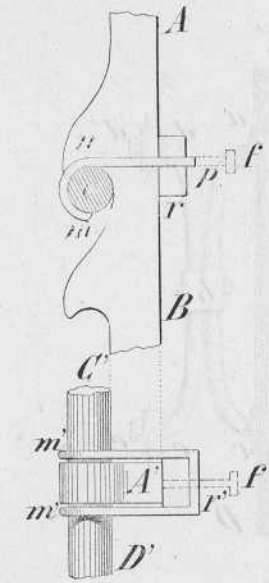


Fig. 42.

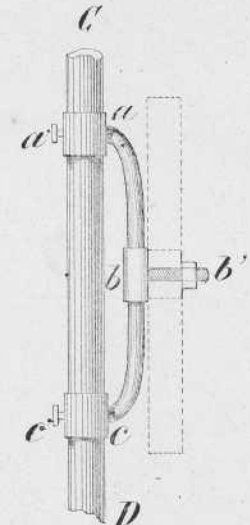


Fig. 44.

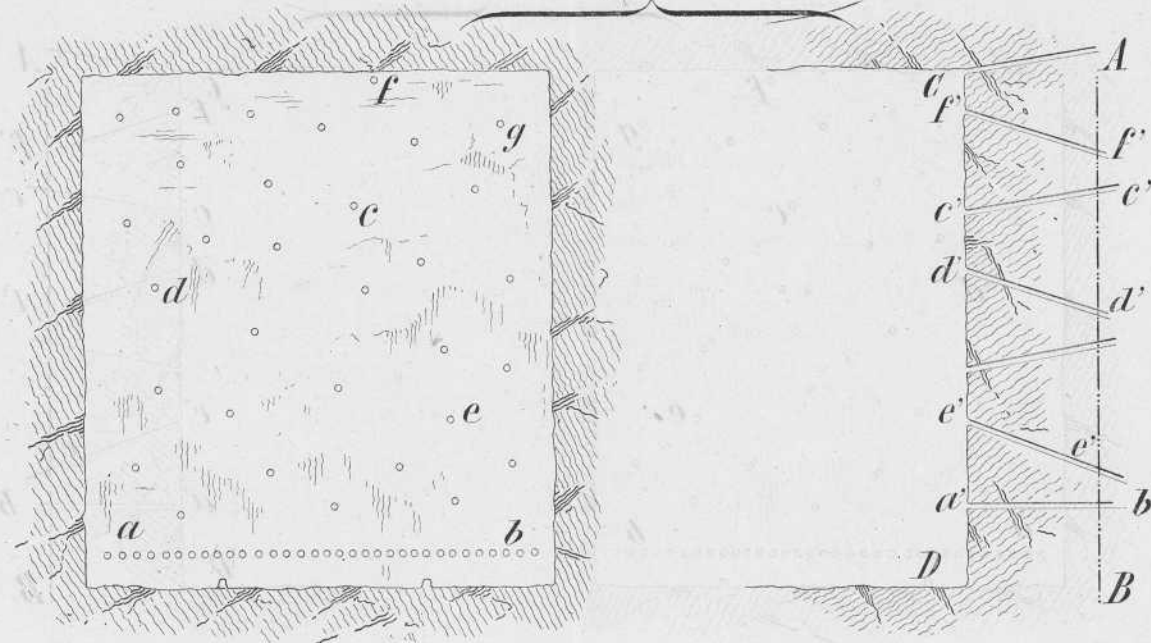


Fig. 45.

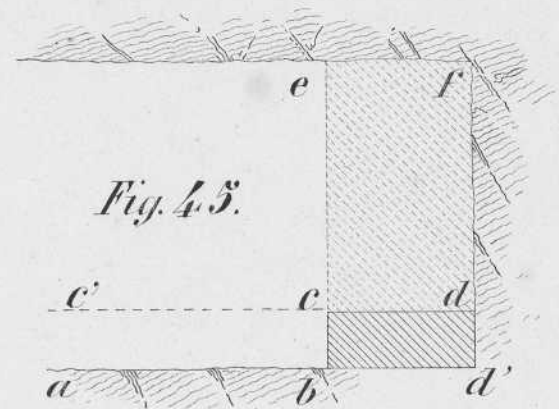


Fig. 46.

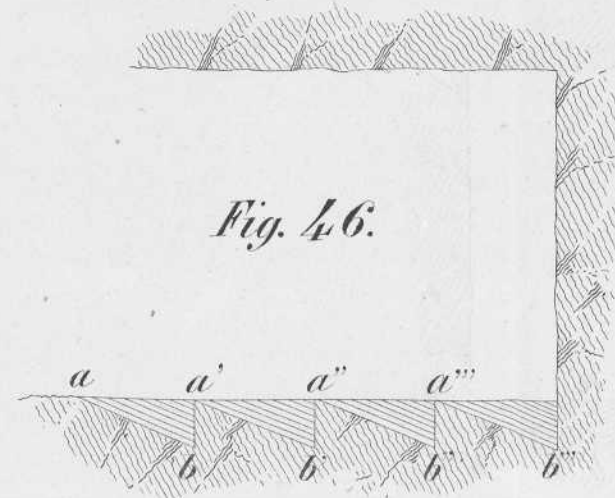
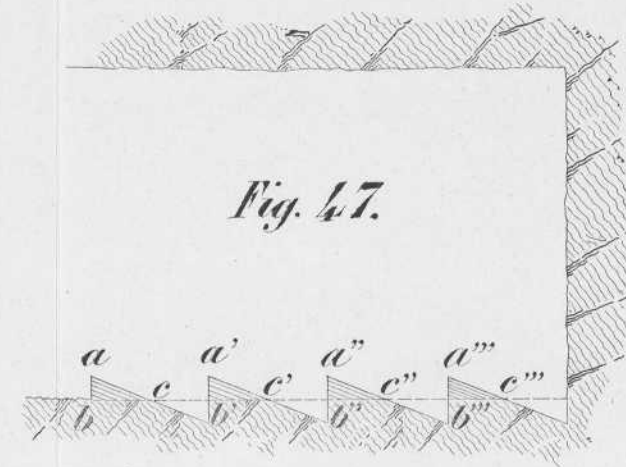


Fig. 47.



L. Riquelme dib.^o

Fig. 48.

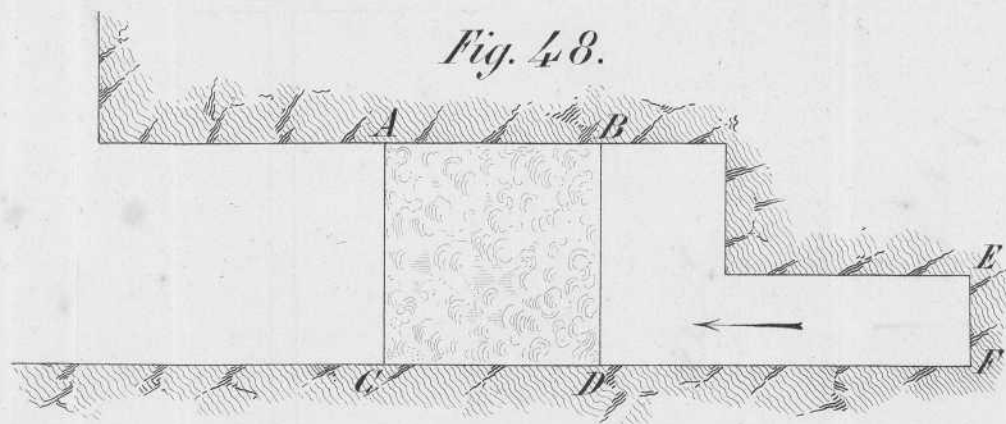


Fig. 49.

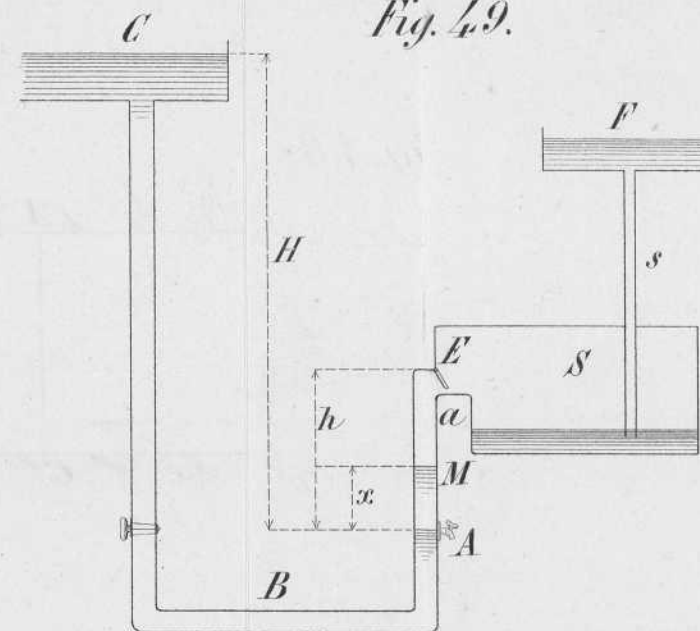


Fig. 51.

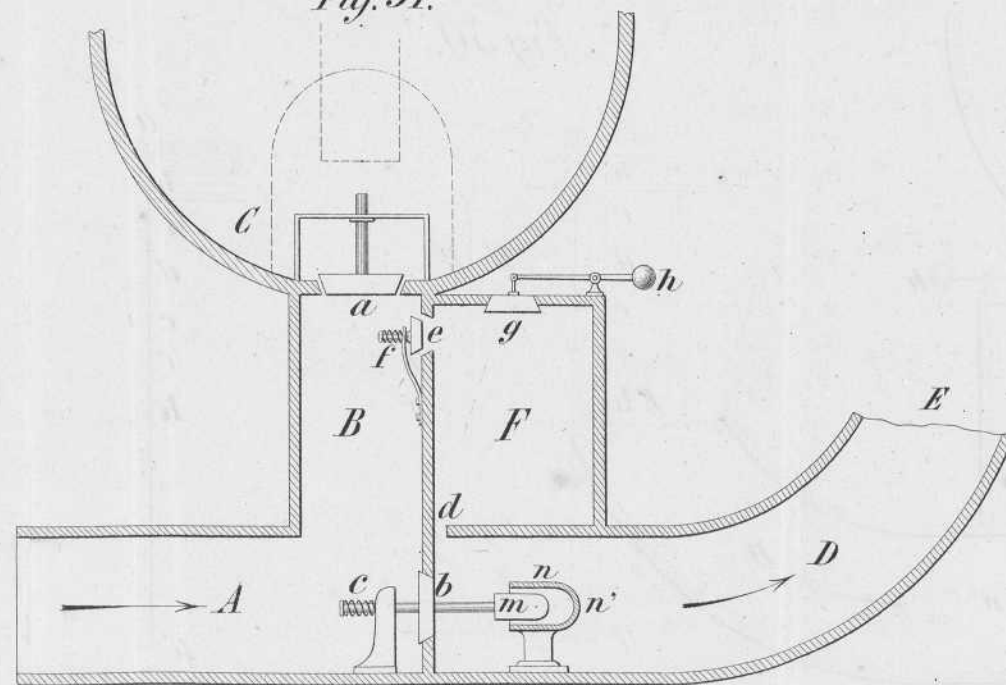


Fig. 50.

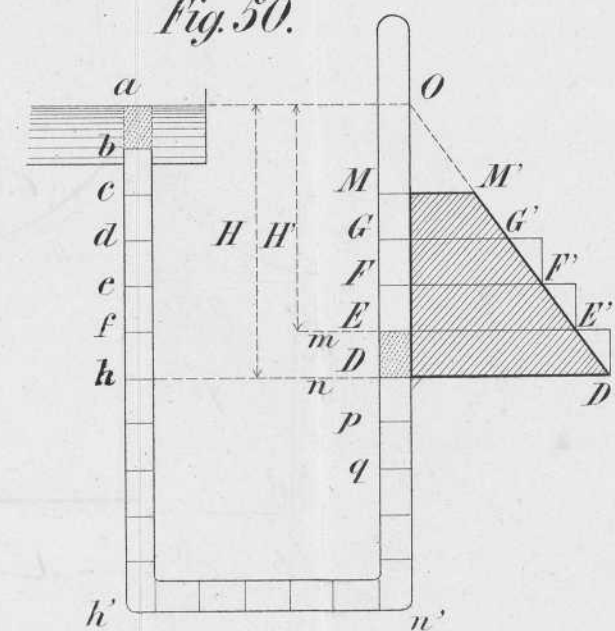
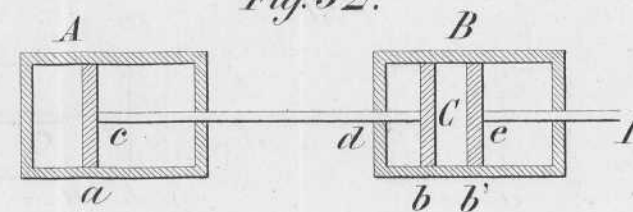
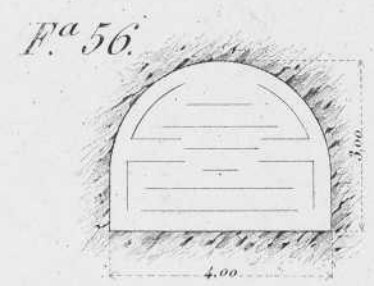
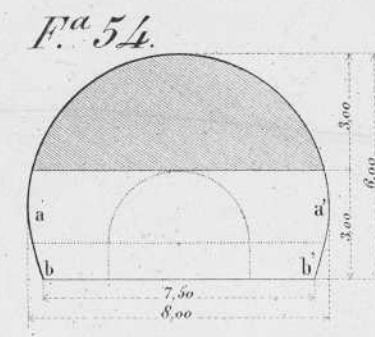
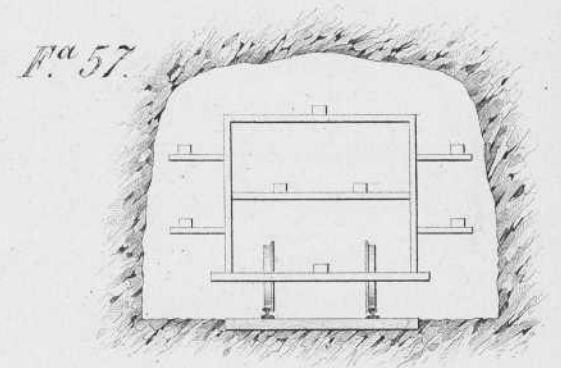
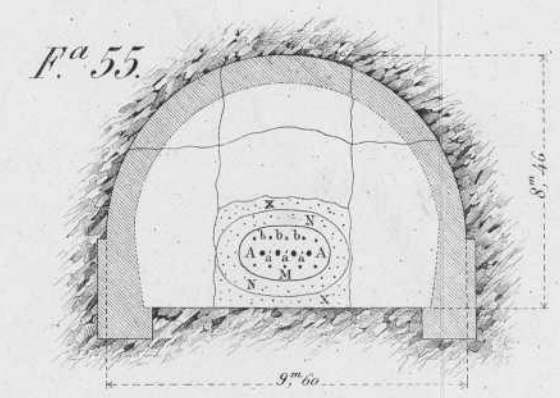
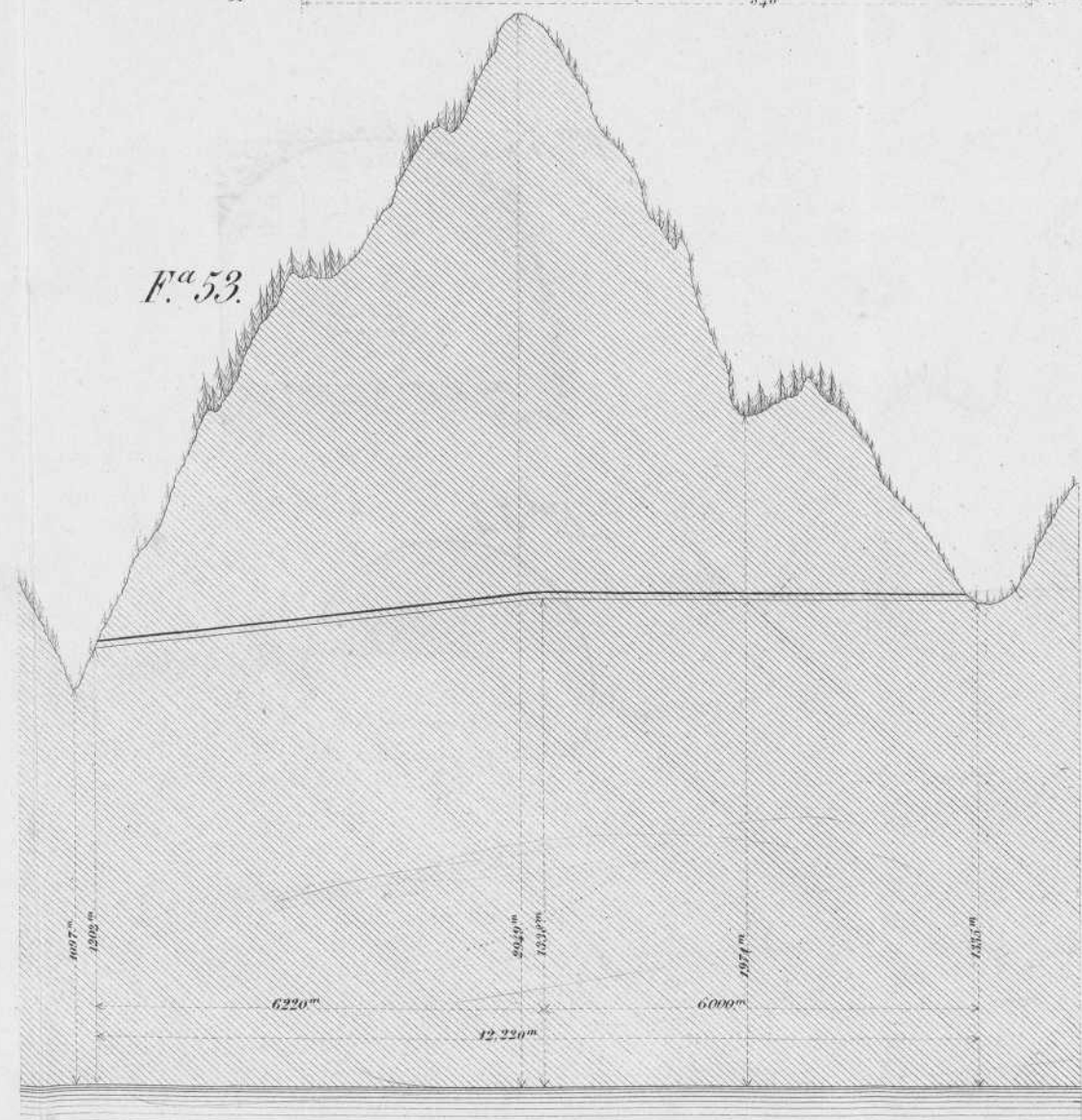
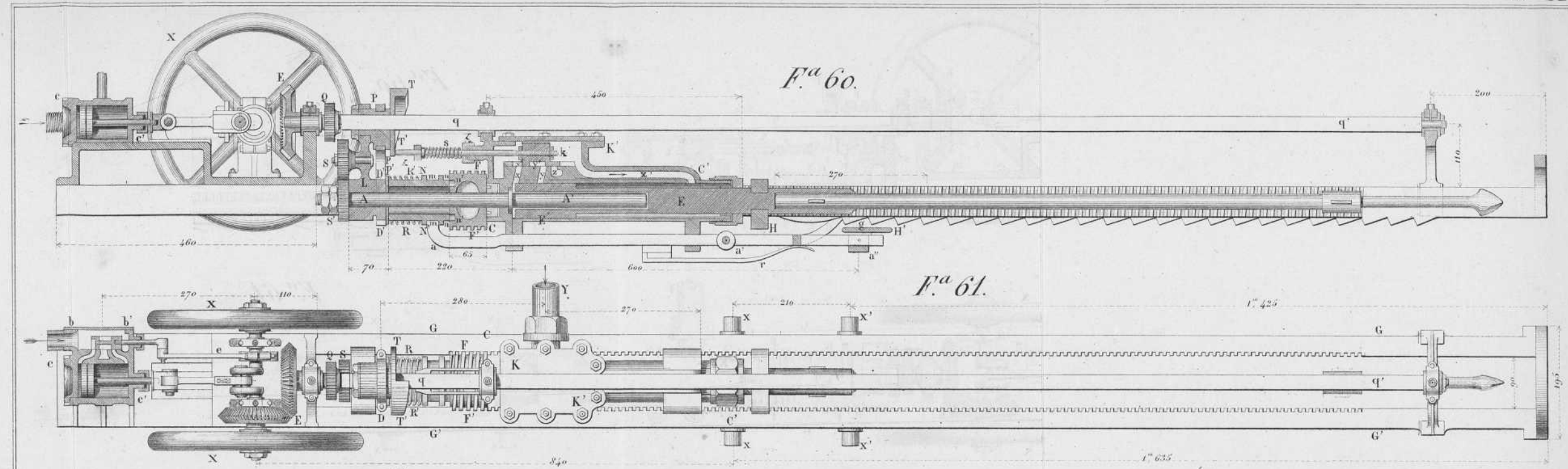
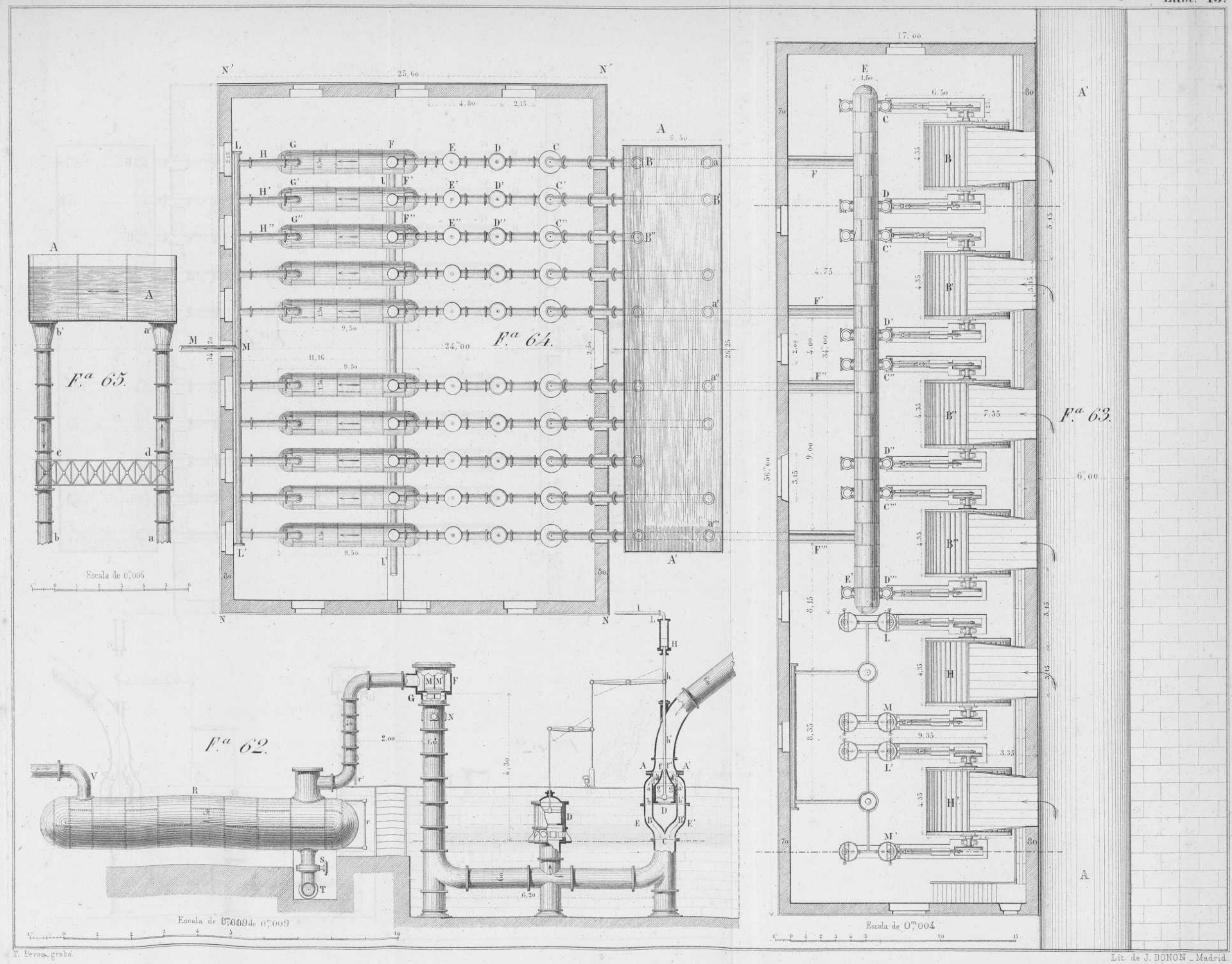


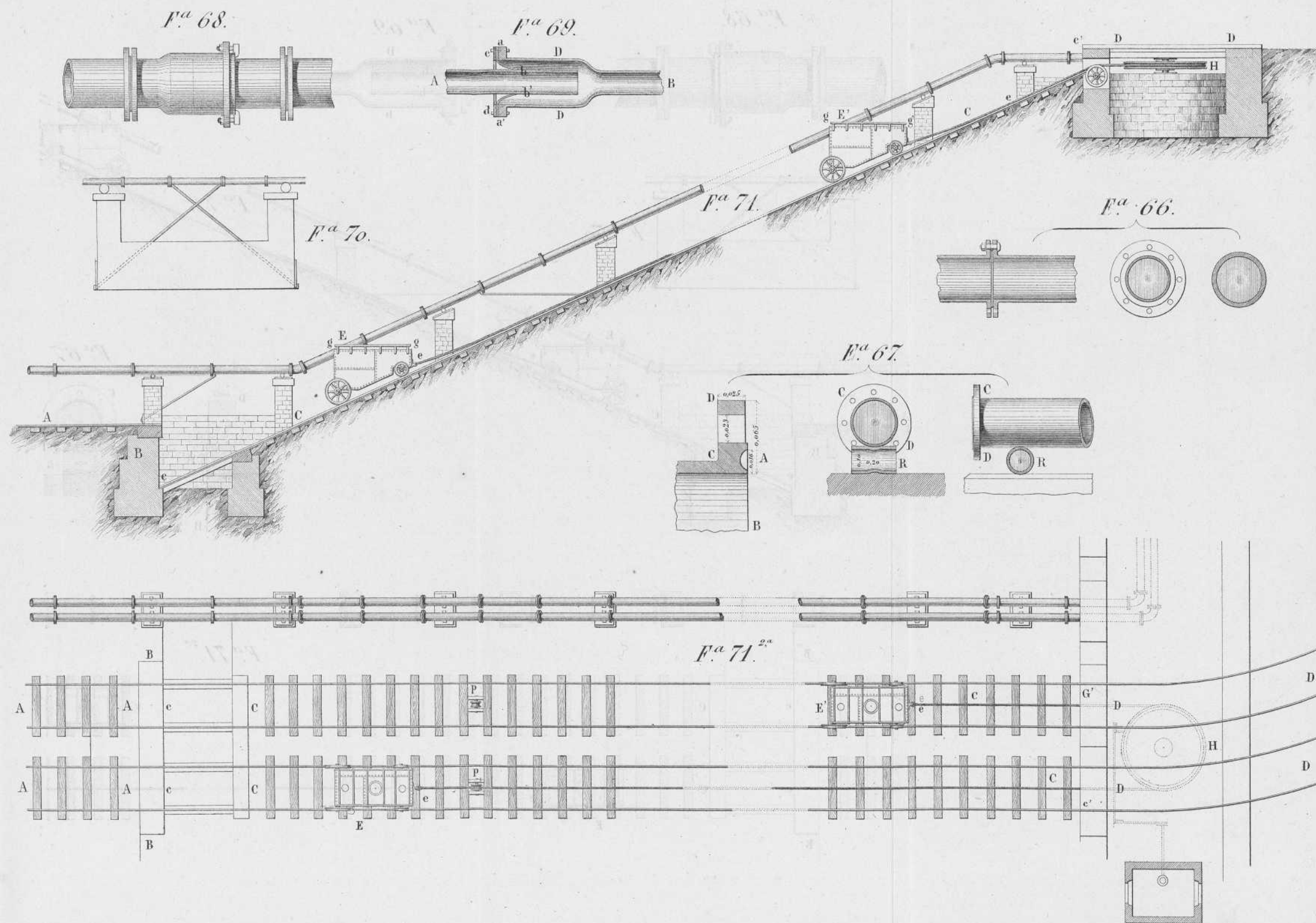
Fig. 52.

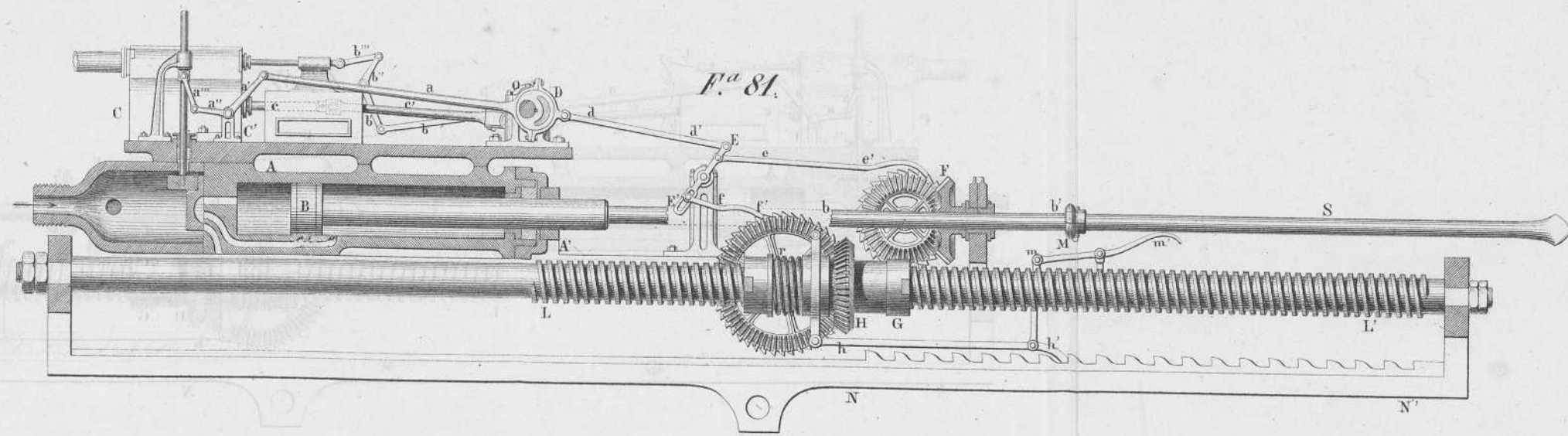
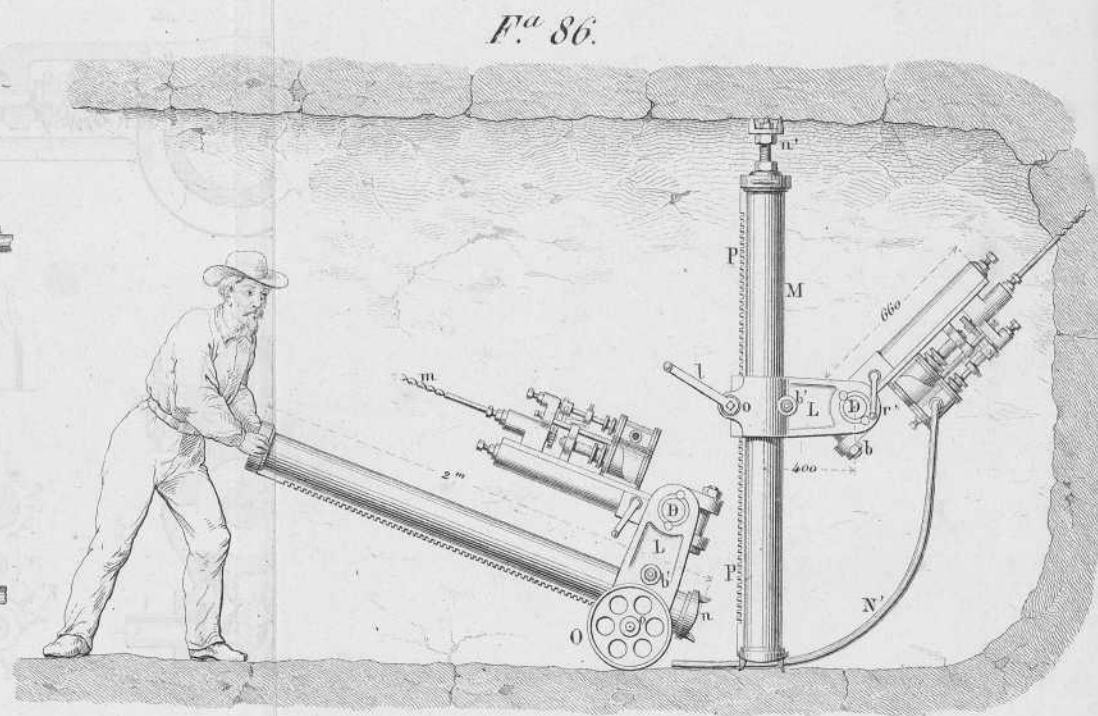
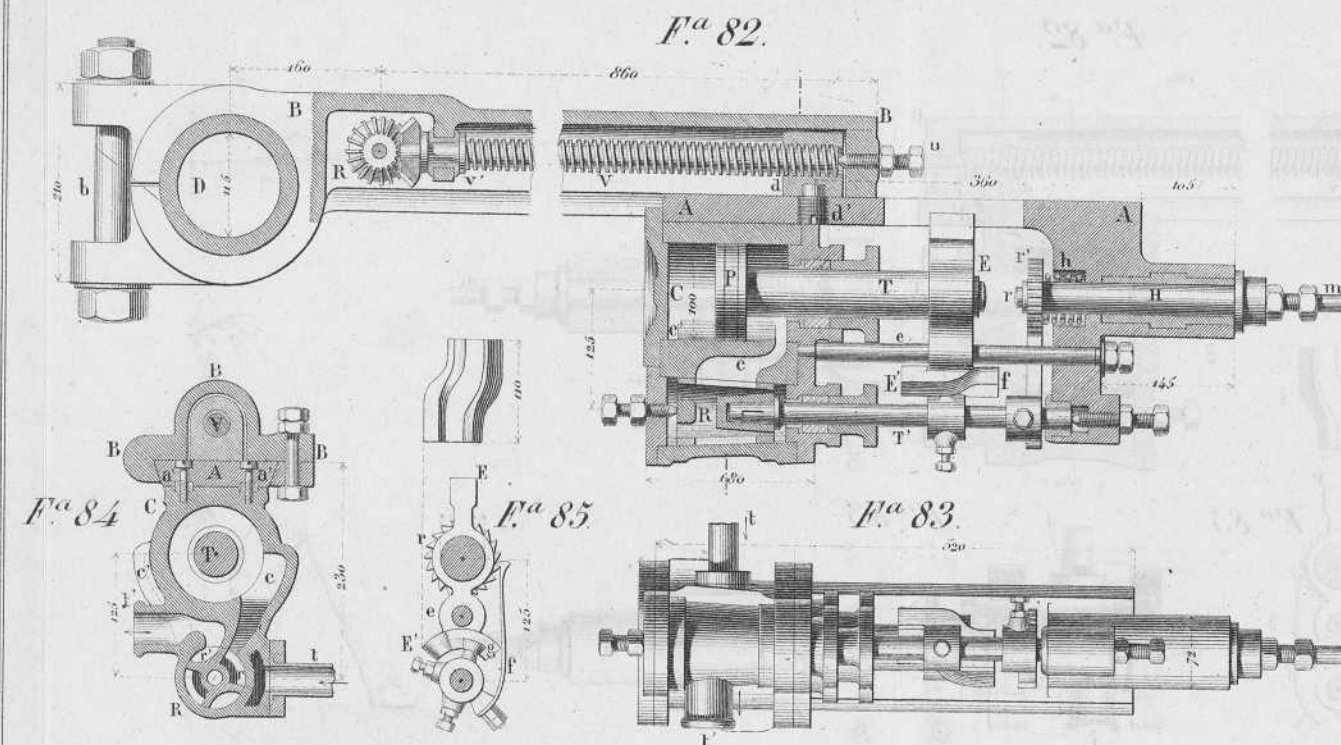


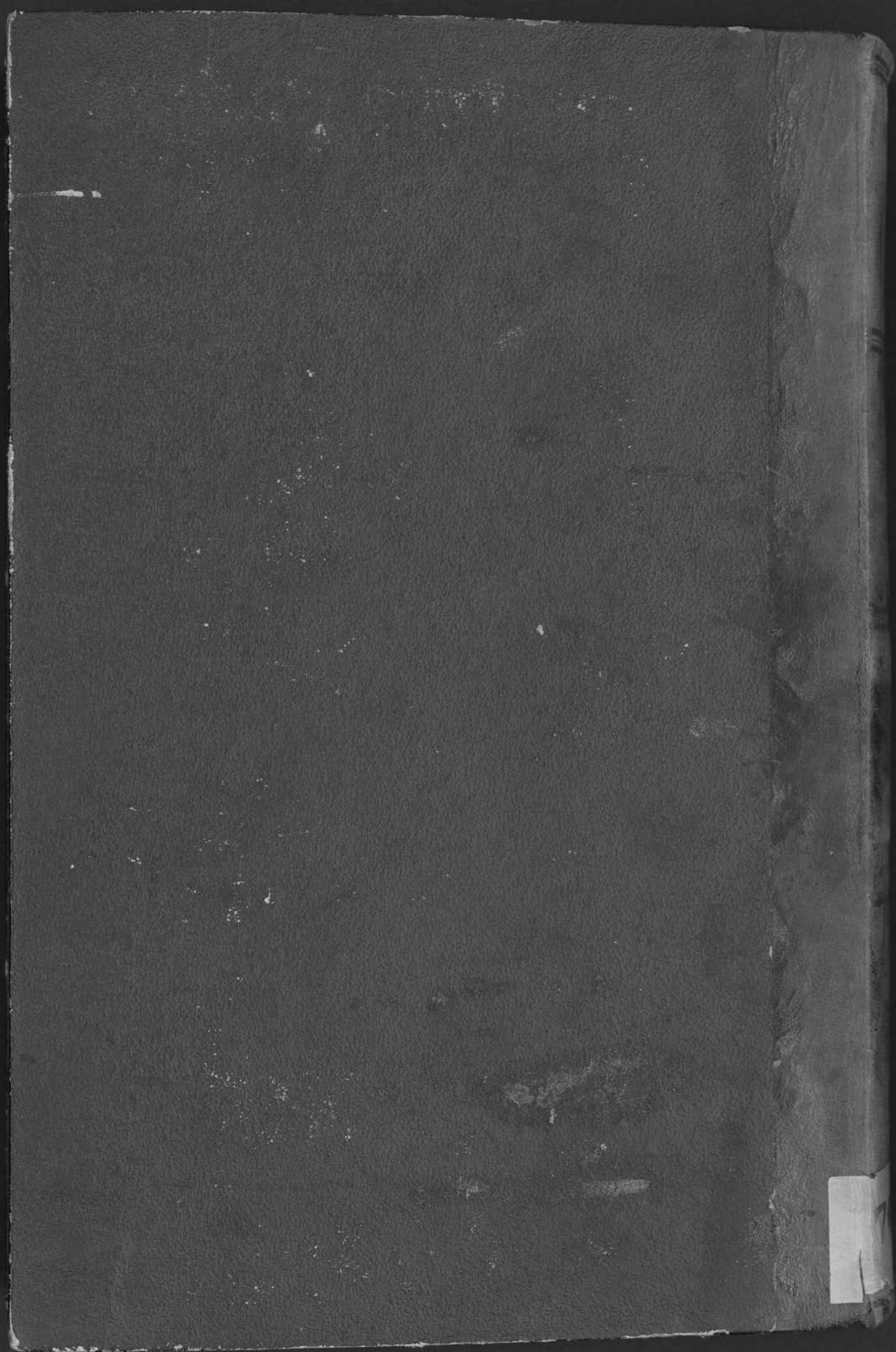
L. Riquelme dib.^o











TUNEL

DE LOS

ALPES

7097