

CAPÍTULO VI

LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA EMPLEADA COMO FUERZA MOTRIZ

I

FUENTE DE HERÓN. — MÁQUINAS DE AGOTAMIENTO. — ESCOPETA DE VIENTO

Se puede emplear la presión del aire como fuerza motriz de dos modos distintos: ó, como en las bombas, se hace actuar la presión atmosférica ó exterior de fuera adentro en un espacio vacío, ó á lo menos en un espacio del que se haya extraído el aire más ó menos totalmente de modo que su presión sea muy inferior á la de la atmósfera; ó bien se emplea el aire comprimido, resultando entonces una presión superior á la de la atmósfera que obra de dentro afuera.

En ambos casos, ya sea para hacer el vacío ó ya para comprimir el aire, se usan máquinas especiales, como las neumáticas ó las de compresión; pero estas mismas requieren, para funcionar un motor, una fuerza natural, la fuerza muscular, los saltos de agua, el vapor, etc.

Las aplicaciones más antiguas de estos dos modos de actuar la presión del aire las idearon, la primera Ctesibio, el inventor de las bombas, y la segunda Herón de Alejandría, matemático griego á quien se atribuye la invención del pequeño aparato que hay en todos los gabinetes de física y cuya descripción vamos á hacer.

Un depósito de agua A (fig. 212) comunica por un tubo que parte de su fondo con el aire libre exterior; por otra parte, comunica también por un tubo lleno de aire con un globo C lleno en parte de agua y al cual llega una columna del mismo líquido ab . De la altura de esta columna depende la presión del aire encerrado y comprimido entre A y C, siendo evidente que esta presión equivale á la de la atmósfera aumentada con la de la columna de agua ab . Actuando esta presión en A sobre la superficie del primer globo ó depósito, obliga al líquido á subir por el tubo, y si la altura de éste sobre el nivel de dicha superficie es menor que la distancia ab , el líquido saltará formando un chorro que teóricamente será igual á su diferencia; se elevaría hasta a' (siendo la línea $a'b'$ igual á la altura ab), si las resistencias que experimenta el agua en su movimiento en el interior del tubo, y además la que le opone el aire exterior, no disminuyesen necesariamente la altura del chorro.

Como la fuente de Herón no se reduce á ser un simple objeto de curiosidad en la historia de la física, debemos mencionarla aquí con doble motivo: y en efecto, se ha reproducido su estructura y aplicado su principio á la construcción de máquinas de agotamiento, como por ejemplo las que funcionan en las minas de Schemnitz en Hungría, y que no son otra cosa sino gigantescas fuentes de Herón, si bien construídas con la solidez necesaria para emplearlas con tal objeto.

Un salto de agua que cae desde cierta altura sobre el suelo superior del pozo de la mina, comprime el aire de un depósito representado en la fuente de Herón por el globo A y que está instalado en el orificio del pozo. Este depósito se comunica por un

tubo con otro establecido en el fondo de la mina, á cuyo segundo depósito van á parar las aguas cuyo agotamiento se desea. El aire comprimido en el primer recipiente transmite su fuerza por el tubo al aire que hay sobre el depósito inferior. La presión hace subir el agua de éste por un segundo tubo que desemboca fuera del pozo. Para que funcione esta máquina es menester abrir y cerrar llaves que dan entrada al aire ó al agua en ambos depósitos.

Conviene añadir que la altura del salto de agua sobre el nivel del suelo ha de ser mayor que la profundidad de la misma debajo de dicho salto. De lo contrario, y prescindiendo de las pérdidas de fuerza, el agua no subiría hasta fuera del pozo y por consiguiente el agotamiento sería imposible.

En la fuente de Herón, lo propio que en las máquinas de agotamiento de Schemnitz, el aire obra como motor; se utiliza la presión en estado dinámico. Otro tanto sucede con la *escopeta de viento*.

Esta escopeta es una de las aplicaciones más antiguas del aire comprimido, pues se hace remontar su invención á Gutter de Nuremberg, que vivía hacia 1560; y aun parece que los antiguos conocieron una máquina por el estilo, puesto que, según Filón, Ctesibio construyó un tubo que disparaba una flecha mediante la fuerza del aire comprimido. Sea de ello lo que quiera, lo cierto es que las tropas usaron algún tiempo el arcabuz de viento. Hoy esta escopeta no es más que una arma de curiosidad, cuyo mecanismo es sumamente sencillo.

La culata de la escopeta (fig. 213) es hueca y metálica; es el depósito en cuyo interior se comprime el aire con una bomba de compresión. En otro tiempo, esta bomba iba metida en la misma culata, y el depósito de aire comprimido era el espacio anular comprendido entre el cañón de la escopeta y un cilindro de mayor calibre que lo rodeaba. La culata M se comunica con la parte del cañón en donde se apoya el proyectil por un orificio provisto de una válvula cónica S, que el aire comprimido mantiene cerrada, pero que se puede abrir mediante el juego del mecanismo de la batería representada detalladamente en el grabado.

Oprimiendo el pie de gato d , el gatillo cae sobre la pieza e cuya parte inferior empuja una varilla tt' que comunica con la válvula, la cual se abre espontáneamente por efecto de tan brusco empuje. Una parte del aire comprimido sale de la culata é impele la bala con una fuerza que depende de la presión hecha para cargar la escopeta de viento. Por lo común, esta presión es de ocho ó diez atmósferas, y como el aire sólo

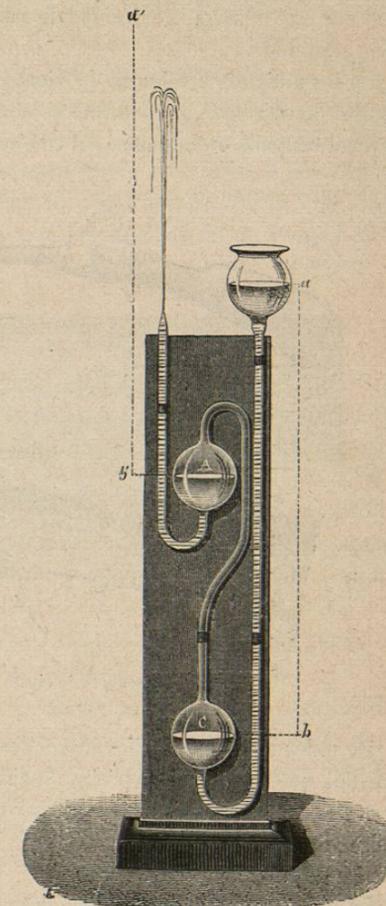


Fig. 212.—Fuente de Herón

se escapa en corta cantidad al primer tiro, se pueden hacer muchos disparos seguidos.

La velocidad con que salen del cañón los proyectiles disparados con la escopeta de viento llega casi á la de las balas que se disparan con una escopeta común; no cabe duda de que la presión inicial del aire comprimido es menor que la de los gases engendrados por la inflamación de la pólvora; pero en compensación de ello es constante todo el tiempo que invierte el proyectil en recorrer el cañón, al cual se da gran longitud por este motivo: la velocidad de salida se debe también á la acción prolongada del aire comprimido.

En los antiguos arcabuces de viento se metían las balas en un pequeño depósito provisto de una llave, y conforme se abría ésta después de hecho un disparo, un nuevo proyectil ocupaba en el ánima del cañón el puesto del primero.

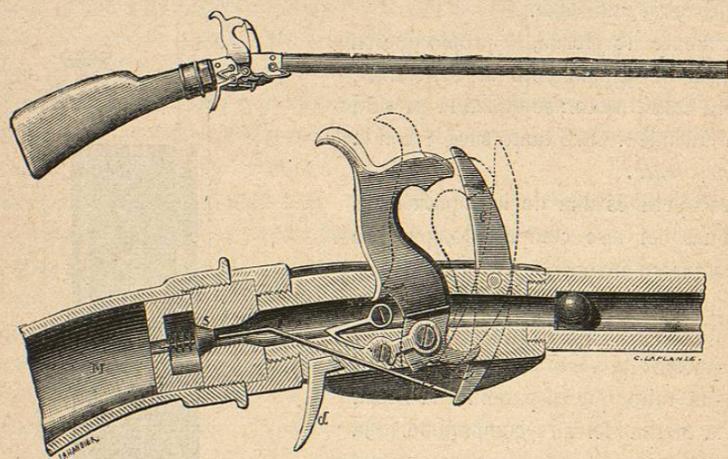


Fig. 213.—Escopeta de viento (vista exterior y sección longitudinal)

De todos modos, es fácil comprender que la fuerza de proyección va disminuyendo á medida que se vacía el depósito de aire comprimido, de suerte que después de disparar unos cuantos tiros es preciso cargar de nuevo el arma, es decir, comprimir otra vez el aire. Tan grave inconveniente no ha permitido dar á esta escopeta una aplicación práctica de trascendencia.

La escopeta de viento produce detonación, pero mucho menos fuerte que la de las armas de fuego del mismo calibre. Del cañón sale también un resplandor, que sin duda reconoce por causa la inflamación de las partículas sólidas arrastradas por la corriente aérea. En concepto de M. Daguin, esta inflamación procede de la electricidad desarrollada por el roce del taco y de las partículas de que hablamos con las paredes interiores del cañón.

Como se ve, hasta el presente apenas se ha utilizado la presión del aire más que en experimentos de física, y excepción hecha de las bombas y de las máquinas de agotamiento de Schemnitz, no ha dado lugar á ninguna aplicación industrial de verdadera importancia.

Vamos ahora á verla, bien en estado estático ó ya en el dinámico, utilizada en circunstancias especiales en que las más veces no hubieran podido otras fuerzas desempeñar el mismo cometido.

II

FERROCARRILES ATMOSFÉRICOS

Entre las más curiosas aplicaciones de la fuerza en cuestión, debemos citar el uso de las máquinas neumáticas y del vacío para el transporte de vagones por las vías férreas. Tratábase nada menos que de lograr, sin el auxilio de la locomotora, el movimiento de un tren subiendo por una rampa cuya pendiente excedía de los límites hasta entonces adoptados. El principio de esta aplicación es muy sencillo, consistiendo en lo siguiente: en toda la longitud de la vía férrea se asienta un tubo metálico, en cuyo interior pueda funcionar un émbolo. Si con una máquina neumática se hace el vacío en el tubo á uno de los lados del émbolo, la presión atmosférica actuará en el otro lado sobre su superficie, y pondrá en movimiento el émbolo y los cuerpos graves á los cuales esté sólidamente unido. Si estos cuerpos graves son los vagones de un tren, el movi-

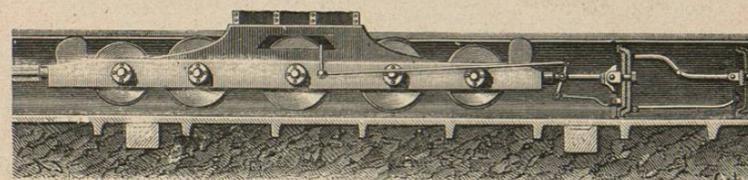


Fig. 214.—Tubo neumático del camino de hierro atmosférico de San Germán

miento de propulsión del émbolo se comunicará á ellos, y con tal que la fuerza obtenida de este modo sea suficiente, podrá hacerlos rodar por las barras-carriles, sin necesidad de los motores comunes.

La idea de utilizar la presión atmosférica como fuerza motriz en la industria de los transportes y acarreos no es nueva, pues data de los primeros experimentos que hizo Otto de Guericke: en 1810, el ingeniero sueco D. Medhurst propuso transportar mercancías, paquetes y cartas por un tubo en el que se hiciese el vacío, y además comunicar el movimiento del émbolo á algunos carruajes que corrieran por fuera del tubo. En 1824, el inglés Wallace concibió la idea de transmitir directamente á los vagones la presión de la atmósfera; pero éstos debían circular por el interior del tubo en que se hiciese el vacío. Por último, en 1848 se construyó en Irlanda el primer ferrocarril atmosférico, de unos tres kilómetros de longitud, entre Kingstown y Dalkey. Los ingenieros Clegg y Samuda se basaron en el sistema de Medhurst, aunque perfeccionándolo. Hicieronse otras muchas pruebas en Inglaterra, en Pouth Devor, en Croydon, y en Francia en un trecho de la línea de París á San Germán. Digamos unas cuantas palabras acerca del mecanismo adoptado en esta última línea.

La figura 214 representa una sección diametral del tubo de 63 centímetros, por cuyo interior corría el émbolo en el camino de hierro atmosférico de Pecq á San Germán. Este tubo, fijo en medio de la vía, tenía una hendidura longitudinal, por la cual pasaba la barra que unía al émbolo con el primer vagón. Delante del émbolo ó hacia el lado del espacio vacío, la hendidura estaba cerrada por una tira de cuero reforzada por cortas placas de palastro, que hacía las veces de válvula, y una serie de ruedas en disminución, sostenidas por las ramas del émbolo, levantaba dicha válvula á medida que avanzaba la barra que unía la varilla del émbolo con el tren.

Hacíase el vacío en el tubo con máquinas neumáticas, compuestas de cuatro cuerpos de bomba de doble efecto y movidas por una máquina de vapor. Se habían calculado las dimensiones del tubo y de las máquinas de modo que se diese al tren una velocidad de un kilómetro por minuto, suponiéndolo cargado con un peso de 54 toneladas, y limitándose á un vacío de una presión de un tercio de atmósfera.

Hoy se han abandonado todos los ferrocarriles atmosféricos, no porque fuese malo su funcionamiento mecánico, sino porque, desde el punto de vista económico, este sistema de tracción es inferior al de las locomotoras y en demasía costoso. La invención de las locomotoras de montaña, propias para la ascensión de fuertes rampas, ha tenido por consecuencia inevitable el abandono de que acabamos de hablar. Las locomotoras recorren desde 1859 la empinada rampa (0^m,035 por metro) de Pecq á San Germán.

III

CONSTRUCCIÓN DE PILAS DE PUENTES UTILIZANDO EL AIRE COMPRIMIDO

Se ha dado también al aire comprimido una aplicación de otro género, la cual no es menos interesante que cuantas hemos descrito. Se le ha utilizado para expeler el agua de los cajones metálicos destinados á formar los cimientos de las pilas de los puentes, debiéndose al ingeniero francés M. Triger la primera idea y la invención del primer método de esta clase. Se han empleado distintos procedimientos según las circunstancias y los planos de los ingenieros que han hecho aplicación de este método; pero como el principio físico es el mismo, bastará describir sucintamente uno de aquellos para dar idea de los demás. Véase en qué consiste el adoptado para la construcción del puente de Kehl, sobre el Rhin.

La figura 215 representa la instalación de una de las obras de cimentación, viéndose en el interior de uno de los cajones colocados debajo del lecho del río á los trabajadores ocupados en extraer escombros.

Supongamos una enorme caja de palastro, de paredes sólidamente atornilladas y reforzadas, tanto interior como exteriormente, con puntales y contrafuertes de hierro; esta caja, de forma rectangular, está abierta en su base inferior, al paso que la superior, que tiene tres aberturas circulares, remata en otras tantas chimeneas de hierro; las dos chimeneas laterales, que comunican simplemente con el interior de la caja, tienen sobre ellas una cámara de aire; la del medio descende hasta más abajo de la base inferior del cajón. Supongamos ahora que se baja esta especie de campana de buzo al fondo del río, de modo que su base abierta descansa en el lecho de casquijo: el agua penetrará en toda su capacidad, y en virtud de la ley de equilibrio de los líquidos en los vasos comunicantes, se elevará por las tres chimeneas hasta el nivel del agua del río. Si entonces, con ayuda de máquinas insuflantes ó de bombas de compresión movidas por vapor (estas máquinas se ven instaladas en un barco, á la derecha del grabado), se hace penetrar aire en las dos chimeneas laterales, compréndese que la presión cada vez mayor del fluido, superior á la presión exterior de la atmósfera, rechazará poco á poco el agua de que está llena la caja, la obligará á escaparse por los intersticios de los bordes inferiores, y dejará vacío, por no decir en seco, el lecho de casquijo en que aquélla descansa. La chimenea del medio, que penetra hasta la arena, será la única que continúe llena de agua. Los trabajadores encargados de abrir los cimientos bajan entonces por

unas cámaras que forman esclusas y por las chimeneas laterales al interior del cajón, lleno de aire comprimido. Protegidos por una presión de dos ó tres atmósferas que los preserva de la invasión de las aguas del río, socavan el terreno cuyos escombros van echando hacia la base de la chimenea central. Una draga ó noria, metida en esta chimenea, sube sus arcaduces y vierte en un barco los escombros susodichos. Además, la obra de mampostería, que se va construyendo sobre el piso superior, gravita con su peso sobre el cajón, obligándole á bajar hasta que llega á la profundidad apetecida. En tonces los obreros suben: la caja, lo mismo que los agujeros de las tres chimeneas, se llenan de cemento hidráulico, y con esto quedan terminados los cimientos.

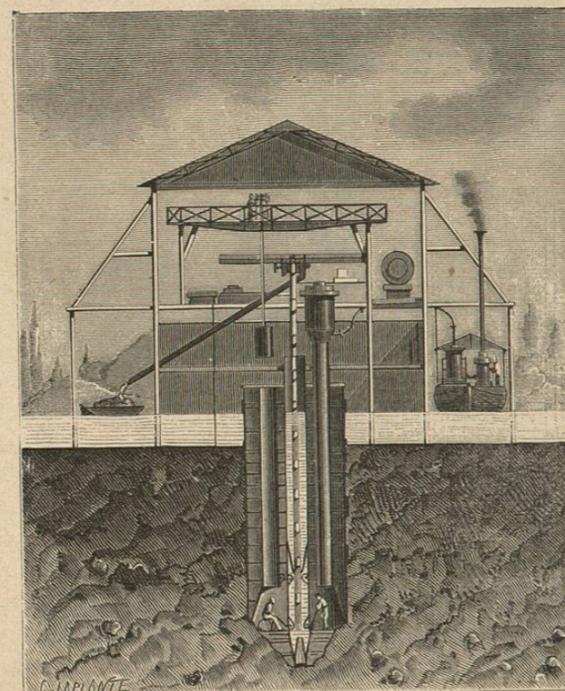


Fig. 215.—Construcción de los machones del puente de Kehl valiéndose del aire comprimido

El puente de Kehl está formado de dos estribos y cuatro pilas; cada una de las dos pilas de los lados descansa en cuatro cajones; las otras dos, menos fuertes, en tres cajones solamente.

No deja de ser peligroso para los operarios el trabajo en un recinto en que el aire está á tan gran presión. Más adelante dedicaremos á este asunto un artículo especial.

El procedimiento de construcción de las pilas de los puentes por medio del aire comprimido se ha aplicado con ventaja siempre que la profundidad del lecho del río ó del brazo de mar sobre el que se debía tender el puente, la rapidez de la corriente ó la composición de las capas de terreno oponían obstáculos á los métodos comunes. Citemos algunas de estas construcciones más notables: en Francia, los puentes de Mácón, de Burdeos y de Argenteuil; en Inglaterra, los de Rochéster y de Saltash; en los Estados Unidos, el gigantesco puente de San Luis sobre el Mississippi. En la figura 216

presentamos el corte vertical de una de las pilas edificada en parte de esta última obra (1).

Antes de utilizar el aire comprimido para esta clase de trabajos, un ingeniero inglés

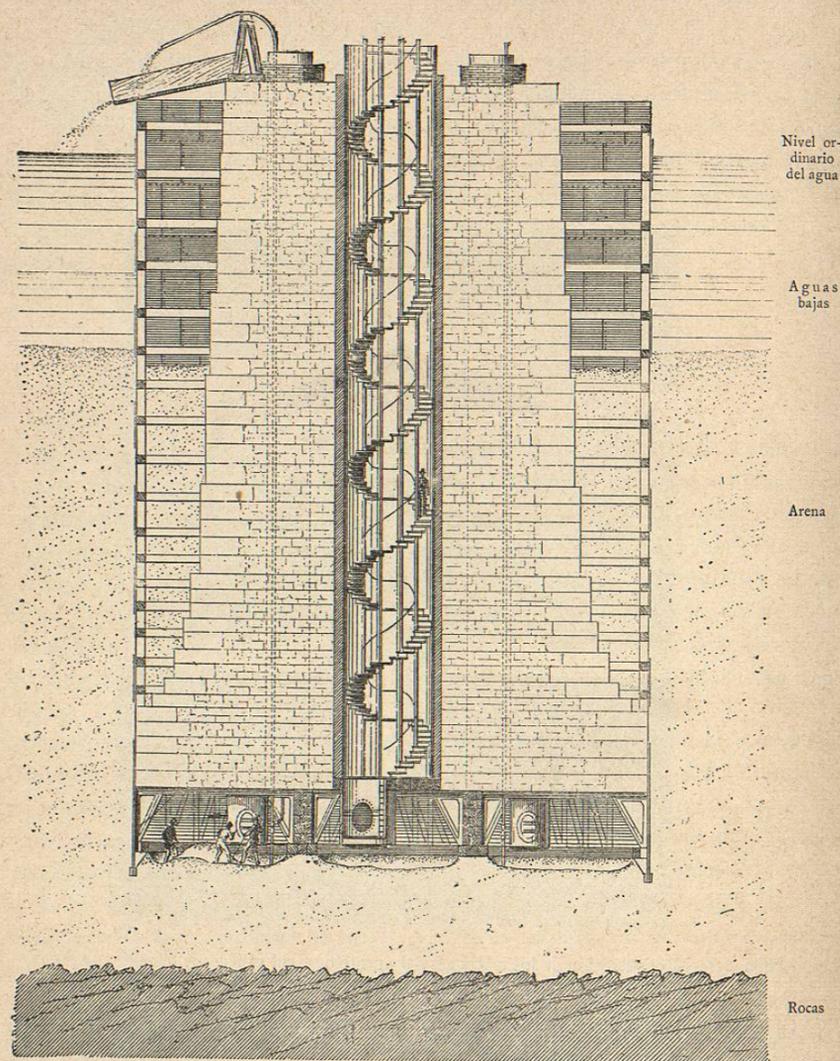


Fig. 216.—Puente de San Luis sobre el Mississippi. Construcción de sus pilas mediante el aire comprimido

había concebido la idea de valerse del vacío: en este caso, la presión atmosférica exterior actuaba sobre tubos de hierro para hundirlos bajo el agua. He aquí, según M. Perdonnet, cómo procedió este ingeniero, el doctor Post, para la construcción de las pilas del viaducto de Anglesey, en el camino de hierro de Chéster á Holyhead:

(1) "La ejecución de los cimientos de las pilas del puente de San Luis presentaba las mayores dificultades. Las dos pilas construídas en el río tienen respectivamente 44^m, 25 y 52^m, 10 de altura sobre la roca en que descansan. Lo que dificultaba más este trabajo era que en el Mississippi hay corrientes de fondo sumamente violentas, que arrastran consigo grandes masas de arena y producen hoyos y cavidades considerables. Como

"En el suelo bañado por el agua, que puede ser de arena, de arcilla ó de légamo, hundió en parte un tubo de hierro abierto por abajo y cerrado por arriba con una tapada cuidadosamente de betún y que comunicaba con una bomba neumática. Hacía funcionar esta bomba, y tan luego como la presión disminuía lo suficiente en el interior del tubo, el agua exterior y hasta el suelo mismo tendían á precipitarse en él en virtud de la presión atmosférica; la corriente de agua que se producía en la parte inferior socavaba el terreno bajo el tubo, rompiendo las arcadas naturales que las partes sólidas forman entre sí, y el tubo bajaba por su propio peso, aumentando con la presión de la atmósfera en su extremo superior. Cuando el tubo estaba lleno, su contenido, compuesto de agua y de partes sólidas, se extraía de cualquier modo, y se daba de nuevo principio á la operación hasta llegar á la profundidad necesaria."

IV

PERFORACIÓN DE TÚNELES POR MEDIO DEL AIRE COMPRIMIDO. — TÚNEL DEL MONTE-CENIS

En los trabajos de la industria contemporánea se ha utilizado y se sigue utilizando en varias circunstancias la fuerza del aire comprimido. Citemos los ejemplos más notables de esta aplicación.

En primer lugar debemos hacer mención de la perforación del inmenso subterráneo hoy día terminado que atraviesa los Alpes un tanto al Sur del monte Cenis, y que enlaza las estaciones de Bardoneche y de Modana, estaciones extremas del camino de hierro de Víctor Manuel. Había que abrir allí una galería de más de 12,000 metros en la roca, es decir, más de 700,000 metros cúbicos de escombros que extraer, y debía ejecutarse tan inmenso trabajo á profundidades en las que no se podía hacer uso de los medios comunes de perforación de los subterráneos. Tampoco se podían abrir pozos de trecho en trecho en el seno de la galería proyectada.

Como no era posible practicar la apertura de tan prolongado túnel sino por dos puntos opuestos, ó sea sus dos extremos, pareció casi imposible emplear el vapor y la pólvora para abrir los agujeros de mina, derribar y fraccionar las rocas; á medida que se hubiera penetrado más y más en el interior de la montaña, se habría tropezado con mayores dificultades para ventilar los talleres, para reemplazar con aire puro el aire del subterráneo, viciado por la mezcla de los gases de la pólvora y del vapor de agua, por la combustión de los hornillos de las máquinas y por la de las lámparas, y finalmente, por los gases procedentes de la respiración de los trabajadores.

Los ingenieros Sommeillier, Grandis y Grattone se propusieron poner en práctica una idea emitida ya por M. Colladon y algo después por Ceiligny, la de valerse del aire comprimido como fuerza motriz de las máquinas que habían de usarse para abrir los barrenos en la roca.

Los compresores, ó máquinas para comprimir el aire en los depósitos ó recipientes, debían sacar á su vez su fuerza de un salto de agua inmediato (el riachuelo de Melezet

ejemplo de estos arrastres, citase el caso del vapor *América*, que se perdió en el río, á unas 100 millas más allá de su confluencia con el Ohio. Acumulóse la arena alrededor de dicho buque, lo cubrió completamente, y formó una isla que adquirió suficiente extensión para que se edificase en ella una granja y se estableciese una plantación de algodón, cuyos desperdicios bastaban para suministrar combustible á todos los vapores que recorrían aquella región. Pero el río tuvo dos crecidas seguidas, que hicieron desaparecer completamente la isla, dejando en descubierto el casco del vapor sumergido." (*Anales industriales*, agosto de 1874.)