

en Bardonneche, y el del Arc en Modana). En un principio eran *compresores de golpe ó de ariete*, así llamados del modo cómo actuaba el agua en tres tubos verticales, provistos de válvulas para repeler el aire al recipiente. El agua llegaba por el tubo A (figura 217), cuya válvula *a* se abría y cerraba alternativamente mientras la válvula *b* del tubo B se cerraba y abría á su vez: una maquineta especial hacía funcionar estas válvulas. El agua, encontrando abierta la *a* y cerrada la *b*, penetraba en el tubo C, y subiendo por él comprimía el aire recogido del exterior por la válvula *e*. Esta se cerraba, al paso que el aire, cada vez más comprimido, forzaba la válvula *d* y se introducía en el recipiente R. Entonces la válvula *b* se abría y la *a* se cerraba; el agua salía por el tubo B; *e* se abría y daba paso á otra cantidad de aire exterior, que mediante una nueva maniobra se comprimía introduciéndose en el recipiente R. Después los ingenieros reemplazaron los compresores de golpe por otros de doble efecto, de mecanismo más sencillo y que utilizaban mejor la fuerza del salto de agua. Daremos algunos detalles acerca

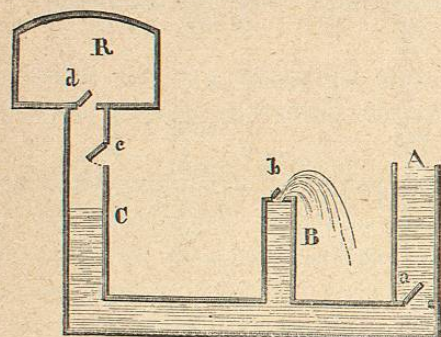


Fig. 217.—Compresor de ariete (figura teórica)

del modo cómo funcionaban estas máquinas en Modana. Doce bombas de compresión recibían su movimiento de seis ruedas hidráulicas que la caída del Arc hacía girar directamente. Cada una de ellas consistía en un émbolo animado de un movimiento de vaivén en un cuerpo cilíndrico horizontal. A los dos extremos del cilindro había adaptados dos tubos verticales cilindro-cónicos, cada uno de ellos con dos válvulas: una de aspiración, que es la que se ve en la figura 218, en la parte inferior del tubo de forma cónica y que recibía el aire exterior, y otra válvula de expulsión que introducía el aire comprimido por la ascensión del agua, dándole paso al tubo correspondiente. El movimiento del émbolo, al rechazar el agua á uno de los cilindros, hace que baje su nivel en el otro, y por consiguiente el aire resulta comprimido en el primer cilindro y enrarecido en el segundo.

Teniendo en cuenta las pérdidas ocasionadas por los escapes, los doce compresores comprimían por término medio en veinticuatro horas 116,500 metros cúbicos de aire á la presión ordinaria, y la presión á la cual pasaba este aire á las máquinas perforadoras llegaba á siete atmósferas.

Tan considerable cantidad de aire no hubiera sido necesaria, si tan sólo hubiese sido menester la fuerza que ponía en movimiento los taladros. Pero en realidad el tubo que conducía el aire comprimido desde los depósitos al fondo de la galería no alimentaba solamente las máquinas perforadoras, sino que lo suministraba para la ventilación de los talleres y de toda la galería.

Añadamos algunas palabras acerca de las máquinas perforadoras. Estas eran diez, instaladas sobre un afuste, que podía rodar, avanzar ó retroceder sobre carriles de hierro, y un carretón, especie de tándem unido al afuste, llevaba los depósitos de agua y de aire comprimido. Introducido este aire por medio de una caja de distribución en un cilindro provisto de un émbolo, comunicaba á este último y á su vástago el movimiento de vaivén que, transmitido á los taladros, producía el choque repetido de las herramientas sobre la roca. Pero, además de este movimiento longitudinal ó de choque, cada ta-

ladro estaba animado de otros dos indispensables para la clase de trabajo que cada uno de ellos debía ejecutar. Al abrir un agujero debía girar poco á poco sobre sí mismo como una barrena, y avanzar además á medida que el agujero era más profundo. Ambos movimientos los producía una maquineta lateral movida por el aire comprimido como la otra, y que servía á la vez para regular el movimiento de la caja de distribución de la primera, actuar sobre una rueda que arrastraba consigo el émbolo y el taladro, y

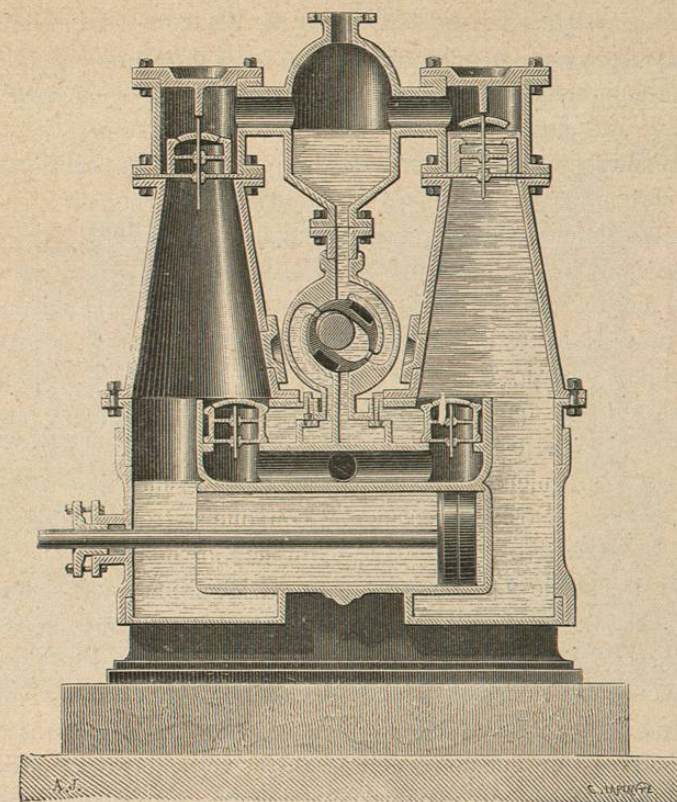


Fig. 218.—Compresor de doble efecto, sistema Fryer de Nueva York

hacer avanzar el cilindro á medida que adelantaba la perforación del agujero en la roca.

Cada perforadora podía dar 200 golpes de taladro por minuto y consumía á cada golpe algo menos de un litro de aire comprimido. En cuanto al adelanto en el trabajo, dependía de la clase y la dureza de la roca.

El éxito de esta aplicación del aire comprimido como fuerza motriz en una empresa en la que no se podía hacer uso del vapor, ó si acaso muy difícilmente, ha sugerido la idea de hacer extensivo el empleo de dicha fuerza á otros trabajos; más adelante citaremos algunos ejemplos.

Además, en todos los países en que hay saltos de agua y por consiguiente fuerzas motrices naturales, se podría aprovechar dichas fuerzas para comprimir aire en depósitos fijos, y circulando el aire con facilidad por tubos, sería posible distribuirlo á domicilio á toda una población obrera, resolviéndose así el problema de la distribución económica de la fuerza.

## V

## APERTURA DEL TÚNEL DEL SAN GOTARDO

El éxito de la perforación del túnel del monte Cenis dió origen á proyectos de análoga y aun mayor importancia, en los que las mismas razones aconsejaban el uso del aire comprimido. Las moles del Simplón, del monte Blanco y del San Gotardo han sido objeto de estudios que prosiguen todavía respecto de los dos primeros. La perforación del último se ha emprendido y ejecutado ya gracias al concurso de Suiza, Italia y Alemania, llevándose esta última potencia la mira de desviar en su provecho el tránsito de Oriente y del Mediterráneo hacia Inglaterra y los puertos del mar del Norte. Si, como es de esperar, se abre un tercer túnel en los Alpes, ya sea en el Simplón ó bien en el monte Blanco, se restablecerá el equilibrio con gran ventaja de Francia. Pero lo que aquí nos interesa, lo que va á obligarnos á entrar en nuevos detalles acerca de las gigantescas aplicaciones del aire comprimido como fuerza motriz, son los perfeccionamientos introducidos en los procedimientos mecánicos ya puestos en práctica en el monte Cenis.

El túnel del San Gotardo es de una longitud que excede en 2,700 metros á la del túnel del monte Cenis, lo que hace llegar la longitud total á 14,900 metros desde la aldea de Göschenen, donde está la entrada Norte, hasta la de Airolo, de donde parte la entrada Sur; por consiguiente ha habido que extraer una masa total de roca de unos 750,000 metros cúbicos. Las dificultades con que se tropezaba eran todavía mayores que en el desfiladero de Frejus: á partir de Göschenen se encontraron rocas graníticas en un trecho de 2,500 metros, á éstas siguieron calizas silíceas, y hasta á un kilómetro de Airolo gneiss micáceos ó anfibólicos; por último, desde el principio, unos 1,000 metros de capas calizas que había en la entrada Sur dieron mucho que hacer á causa de las considerables filtraciones que allí resultaron y cuyas copiosas aguas inundaron los trabajos más de un año. A pesar de estos obstáculos, tras ocho años de esfuerzos continuos se han reunido las galerías de las vertientes Norte y Sur, y muy en breve recorrerán las locomotoras por un segundo punto las montañas alpinas (1).

Lo propio que en el monte Cenis, la fuerza natural utilizada para llevar á cabo tan gigantesca empresa se ha sacado de las corrientes vecinas á las dos bocas del túnel: por la parte de Airolo, del torrente Tremola y del Tessino, y por la de Göschenen, del Reuss. Las aguas de estos ríos, recogidas en depósitos construídos á 180, 90 y 85 metros sobre los edificios que contenían las máquinas motrices ó turbinas y los compresores, bajaban por conductos metálicos hasta las máquinas y suministraban fuerza sobrada para que éstas funcionaran continua y regularmente.

Véanse ahora los principales perfeccionamientos que se han introducido en la perforación del nuevo túnel.

Hemos dicho antes que los ingenieros del monte Cenis no habían tardado en sustituir á los arietes ó compresores de columna de agua los compresores de émbolo líquido, de los que hemos procurado dar una idea. El motivo de esta sustitución era muy natural: estas últimas máquinas producían triple aire comprimido que los arietes, costando una tercera parte menos.

Con todo, no dejaban de tener grandes defectos: como los émbolos líquidos habían

(1) Esta vía férrea ha sido abierta á la circulación el 21 de mayo de 1882.

(N. del T.)

de mover una masa de agua considerable, debían funcionar con gran lentitud á fin de economizar la fuerza motriz, y de aquí la necesidad de usar ruedas hidráulicas de pausado movimiento. Además estos compresores eran dispendiosos y ocupaban mucho espacio.

En las montañas cuyas corrientes son poco caudalosas, pero cuya escasez de agua está compensada por las grandes alturas de sus saltos, es más ventajoso el uso de motores rápidos como las turbinas; pero esta ventaja desaparece con los compresores de émbolo líquido, por cuanto es necesario transformar por medio de sistemas de engranajes el movimiento rápido en otro más lento. Se ha logrado obviar este inconveniente

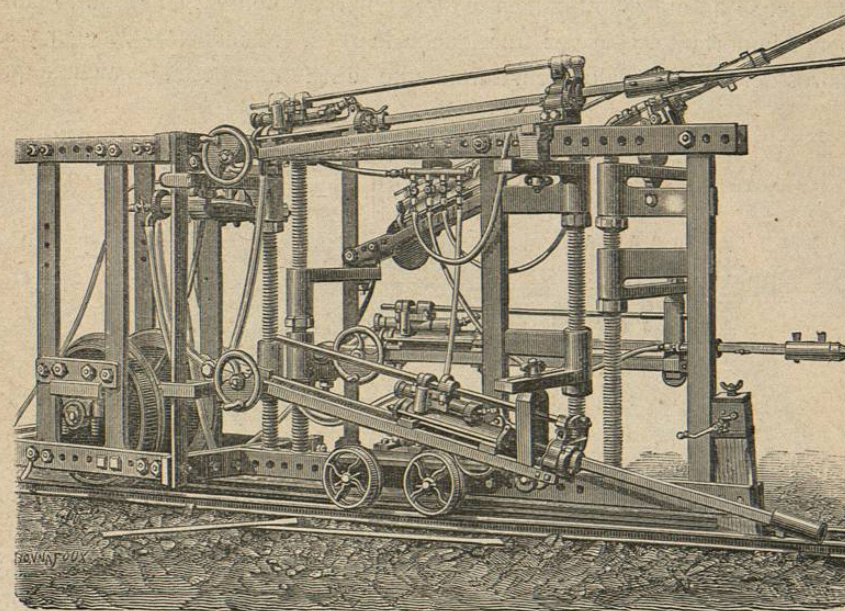


Fig. 219.—Nuevas máquinas perforadoras usadas en el túnel de San Gotardo

merced al empleo de nuevas bombas de compresión ideadas hacía ya tiempo por M. Colladon, pero perfeccionadas recientemente por este distinguido ingeniero, y adaptadas al uso especial que reclamaba la perforación del túnel del San Gotardo.

Las máquinas motoras usadas eran turbinas, cada una de las cuales ponía en movimiento un árbol de tres bielas que hacían funcionar los émbolos de tres cilindros compresores. A cada vaivén del émbolo, el aire era aspirado de una parte por el cilindro, y de la otra rechazado por ciertas válvulas de admisión y de salida, y comprimido en seguida hasta siete ú ocho atmósferas. Los cilindros de doble pared y el vástago hueco del émbolo daban paso continuo al agua fría, para compensar así el calor desarrollado por la compresión, en el momento de la compresión misma, y con el mismo objeto se inyectaba en el cilindro una corta cantidad de agua en estado pulverulento. Esta disposición era de suma importancia para la conservación de los órganos de la máquina. De los depósitos ó cilindros de hierro donde se almacenaba el aire comprimido, pasaba éste por tubos metálicos á la entrada del túnel, y luego al interior hasta el sitio de la perforación, donde mediante ciertos tubos de caucho iba á parar á las máquinas perforadoras. También se han introducido gradualmente en éstas algunos perfeccionamientos, gracias á los cuales se ha podido simplificar la operación final, que consiste en la apertura de barrenos en la superficie tallada de la roca. Una vez abiertos los agujeros á la

profundidad deseada, introduciéndose en ellos cartuchos de dinamita, que con la explosión disgregaban la roca.

Ya hemos dicho antes que el aire comprimido, después de poner en movimiento el aparato perforador, servía para renovar el aire viciado en las galerías por la respiración de los trabajadores, por la combustión de las lámparas y por el gas engendrado por cada explosión. Las perforadoras no hubieran bastado para suministrar el aire fresco y puro necesario para su renovación; así fué que se pusieron llaves ó espitas en el conducto de aire, con las cuales se pudo remediar dicha insuficiencia, pues la cantidad del comprimido por las bombas excedía con mucho de la necesaria para la perforación.

Finalmente, se ha utilizado también el aire comprimido en el San Gotardo para un uso no menos importante. Una vez fraccionada la roca, era menester recoger y sacar los escombros del túnel, trabajo que naturalmente se hizo más pesado á medida que se

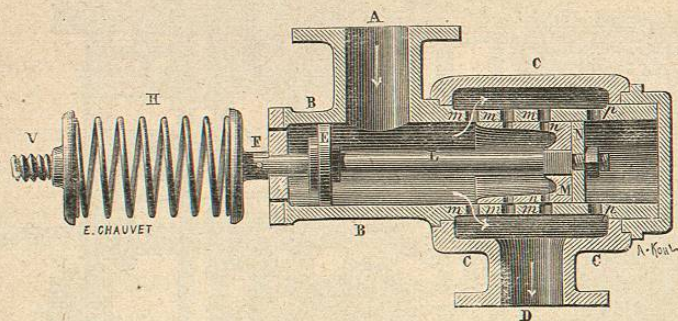
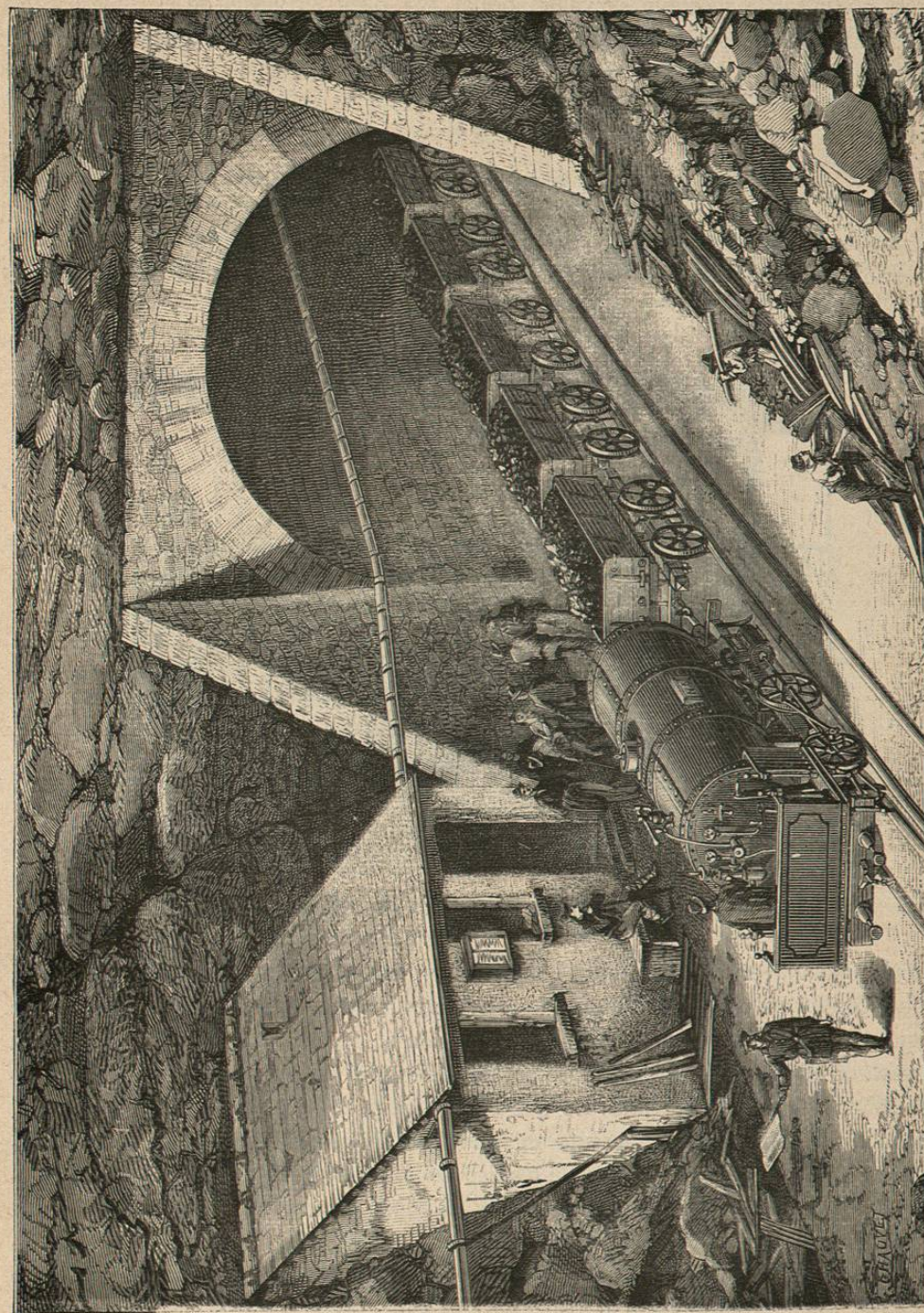


Fig. 220.—Regulador de la locomotora de aire comprimido

penetraba más y más en las profundidades de la montaña. Para activar este acarreo, que diariamente llegaba á centenares de metros cúbicos, no podía pensarse en emplear el vapor; el hornillo de una locomotora habría aumentado la temperatura ya sobrado elevada y contribuido á viciar el aire de la galería. También se recurrió para esto al medio en cuestión (véase el grabado de la página siguiente).

Al principio se sirvieron de locomotoras comunes, en las cuales se introdujo aire comprimido que hacía funcionar los distribuidores y los cilindros enteramente como el vapor mismo. Después, como la cantidad de gas motor que se podía introducir en semejantes máquinas se consumía muy luego, se agregó á la locomotora una especie de tender, compuesto de un gran depósito cilíndrico de aire comprimido, el cual se comunicaba por un tubo con la caja de distribución de la máquina; pero en breve se prefirió un sistema menos molesto y embarazoso, y el ingeniero del túnel M. Ribout ideó é hizo construir una locomotora de forma especial, á la cual proveyó de un regulador á propósito para producir la salida del aire comprimido del tubo á una presión determinada y constante. La figura 220 representa la sección de este aparato. El aire comprimido entra por A en el cilindro B, en donde su presión es la del depósito: sale de aquí para pasar á la caja de distribución por el tubo D con menor presión, porque su salida se efectúa por los orificios *m m* que reducen su cantidad. Trátase de hacer constante esta presión á la salida, aun cuando á la entrada sea variable, puesto que el consumo la ha disminuído forzosamente. Para ello, el cilindro B está provisto de un émbolo que se apoya por medio de un vástago exterior F en un muelle en espiral, cuya fuerza se regula con un tornillo. Por el otro lado, el émbolo lleva una pieza provista de aberturas *n n* que, según su posición, tapan ó destapan las aberturas *m* de admisión del gas comprimido.



TÚNEL DEL SAN GOTARDO: LOCOMOTORA DE AIRE COMPRIMIDO USADA PARA LA EXTRACCIÓN DE ESCOMBROS

Si la presión aumenta á la salida, el émbolo corre hacia la izquierda y las aberturas *m* quedan cerradas en parte; la salida y por consiguiente la presión disminuyen; en el caso contrario, el émbolo se mueve hacia la derecha, el gas penetra en mayor cantidad, y la presión y la salida recobran su valor normal. Así pues, en virtud de este mecanismo automático queda asegurada la regulación de la presión del aire introducido en la caja distribuidora.

## VI

## APLICACIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO Á LOS CARRUAJES DE LOS TRANVÍAS

La figura 221 representa un carruaje que ha funcionado en diciembre de 1875 en el tranvía que va desde la plaza de la Estrella hasta Courbevoie. El motor de esta

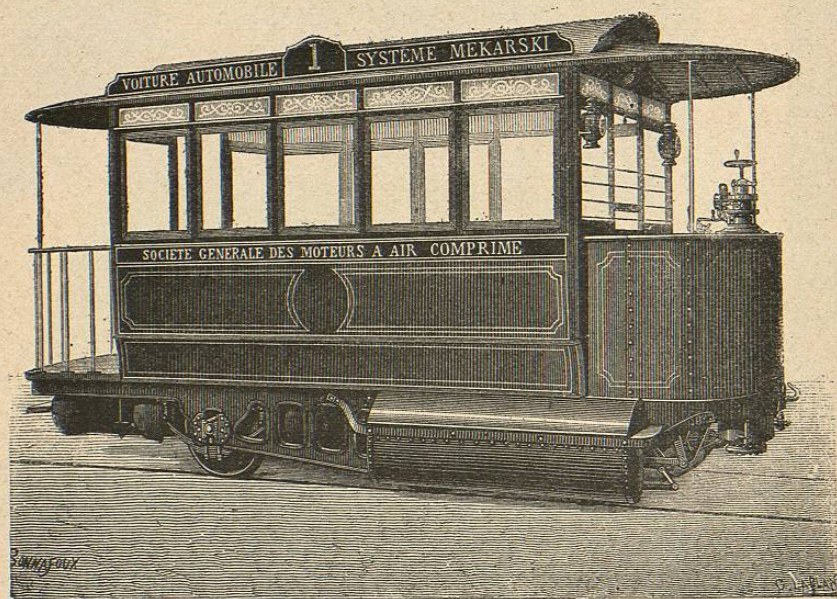


Fig. 221.—Carruaje automóvil de Mekarski movido por el aire comprimido

nueva máquina es también el aire comprimido. Vense entre las ruedas dos depósitos cilíndricos; en estos cilindros, que son muy resistentes, una máquina fija instalada en las estaciones extremas comprime el aire á la presión de 25 atmósferas. Utilízase la fuerza elástica de este aire como en las locomotoras de vapor, y pone en movimiento un mecanismo semejante al de éstas. Lo que constituye la originalidad de la invención del ingeniero M. Mekarski es el aparato que tiene por objeto mantener á una presión constante el aire comprimido que sale de los depósitos. Este *regulador de presión* va colocado en la parte anterior del carruaje entre los cilindros motores. Tropezábase con una dificultad que afortunadamente parece allanada: la de obtener la expansión sin los inconvenientes del enfriamiento que produce y que al cubrir de hielo las paredes de los cilindros hubiera entorpecido el mecanismo. A este efecto, antes de ir á parar al regulador de presión el aire que sale de los depósitos, pasa por otro depósito lleno de agua á 150° ó 170°. Caliéntase allí, y por consiguiente al efectuar la expansión no se enfría tanto, aparte de que el vapor con el cual se mezcla le cede una porción de su calor latente.

Ninguna trepidación, ningún ruido, un manejo muy fácil y gran regularidad en la marcha, tales son las cualidades principales del nuevo motor, que no tardará mucho en adoptarse, si la cuestión del precio de coste es favorable al nuevo sistema.

No debemos terminar sin hacer mención de otra aplicación importante del aire comprimido en las vías férreas, y es la que tiene por objeto enfrenar los vagones de un modo continuo y automático. En los sistemas de freno á mano, la maniobra es insegura, pues el maquinista al tropezar con un obstáculo imprevisto ha de transmitir la orden de acortar los frenos á los empleados que tienen á su cargo esta operación. Por el sistema de frenos continuos se pueden enfrenar á la vez todos los carruajes, desde la locomotora y el tender hasta el último vagón. Los inventores han sacado la fuerza necesaria para ello, ya de la electricidad ó ya de la presión atmosférica ó del vacío, ó ya en fin del aire comprimido, habiéndose dado diferentes soluciones á tan interesante problema. Una de las más ventajosas es el freno Westinghouse, que funciona con aire comprimido. El ingenioso mecanismo que lo constituye es demasiado complicado para que podamos dar aquí una descripción detallada de él.

## CAPÍTULO VI

## TELEGRAFÍA NEUMÁTICA.—RELOJERÍA NEUMÁTICA

## I

## PRIMEROS ENSAYOS DE ESTACIÓN NEUMÁTICA

En el capítulo anterior hemos visto que desde principios de este siglo se ha tratado muchas veces de utilizar la presión del aire, ya para la circulación de carruajes por las carreteras y ferrocarriles, ya para el acarreo de mercancías, paquetes ó cartas. Los inventores de este sistema, Medhurst y Wallace, tan sólo se valieron en un principio de la presión atmosférica: el ferrocarril atmosférico de Kingstown, y luego el de San Germán, han demostrado que la idea era realizable, por más que el sistema, demasiado costoso y complicado, hiciese su aplicación, ya que no imposible, por lo menos muy poco económica.

Posteriormente, varios inventores han combinado la acción de la presión atmosférica ó del vacío con la del aire comprimido. Citaremos desde luego, por orden de antigüedad, la estación neumática (ó *pneumatic dispatch*) de Rammel, establecida en Londres en 1854, y cuya descripción en principio es la siguiente.

En este sistema el tubo por donde marchan los vagoncillos que llevan los despachos forma un pequeño túnel de hierro de 0<sup>m</sup>,84 de diámetro que tiene un par de rieles en su parte inferior. Los vagones son cajas de hierro, de la misma forma exterior que la del túnel, con una separación de unos 0<sup>m</sup>,30 entre sus paredes y las del tubo. El aparato motor, al cual ha dado su inventor M. Rammel el nombre de *inyector neumático*, está instalado en una de las estaciones y dispuesto de modo que produce sucesivamente, ora aire comprimido cuya fuerza motriz empuja por detrás á los vagones que van á la estación opuesta, ó bien hace cierto grado de vacío ó de enrarecimiento del