





12906 J

CB 382 904

A
4666 (I)

FONDU ANTIGUO



10000382904

A 4666 (I)



R. 111582

Enciclopedia Popular Ilustrada
TOMO 3.º — CONOCIMIENTOS ÚTILES

EL FERRO-CARRIL

POR

D. EUSEBIO PAGE

Director de Caminos, Canales y Puertos
y Jefe de la Dirección general de Obras públicas

TOMO I



MADRID

DIRECCION Y ADMINISTRACION

Doctor Fourquet, 7.

Esta obra es propiedad del Editor de la
BIBLIOTECA ENCICLOPÉDICA POPULAR ILUSTRADA,
y será perseguido ante los tribunales
que la reimprima sin su permiso.
Queda hecho el depósito que...

7 30100910
Madrid 1881.—Est. Tip.-Editorial de G. Estrada, Dr. Fourqu...

Á LA SOCIEDAD
ECONÓMICA MATRITENSE
DE AMIGOS DEL PAÍS

legítima representante

de los intereses morales y materiales del país

DEDICA LA

BIBLIOTECA ENCICLOPÉDICA POPULAR ILUSTRADA

El Socio

GREGORIO ESTRADA

4411

Excmo. Sr. D. Práxedes Mateo Sagasta

Mi muy querido Práxedes:

Sabiendo, como sabes, que he dedicado mi vida entera á las obras públicas, y singularmente al estudio, construcción, explotación y estadística de los ferro-carriles, no has de extrañar mi pasión por este sistema de comunicaciones, el más rápido, seguro y económico de cuantos se conocen, y comprenderás también el exacto conocimiento que creo tener de los inmensos beneficios obtenidos con su establecimiento en nuestra desdichada patria.

He pensado, pues, que prestaría mi servicio á mis conciudadanos, sobre todo á los designados por sus condiciones para regir los destinos del país, difundiendo y vulgarizando los datos,

adelantos y noticias que á las vías férreas atrañen. Con tal objeto escribí este modesto libro.

Y como no hay talento que me inspire mayor admiracion que me causa el tuyo, ni patriotismo, habilidad y discrecion que me produzcan la confianza con que miro en tí aquellas cualidades, á tí te dedico mi pobre trabajo contando con que me permitirás aprovechar la ocasion para repetir, por si alguno lo duda, que corresponde á tu antiguo afecto con la mas decidida, cariñosa y constante adhesion

EUSEBIO PAGE.

Madrid 31 de Enero de 1884.

INTRODUCCION

Encerrar en los estrechos límites de un *Manual* todo cuanto se refiere al complicado mecanismo de un ferro-carril, es tarea que debe calificarse de imposible, y en consecuencia, debe tambien tenerse por absurdo el propósito de realizarla.

Para comprender científicamente aquel mecanismo es indispensable seguir paso á paso el difícil y espinoso camino que desde sus primeros estudios tiene que recorrer el Ingeniero de caminos; y para apreciar en su verdadero valor el alcance moral y material de tales vías, es forzoso abarcar con superior criterio el campo de las provechosas investigaciones del economista y aún del hombre de Estado. Pero si no es posible en manera alguna reunir en pequeño espacio todas las ciencias indispensables para realizar con fruto el estudio de los ferro-

carriles; es practicable y oportuno presentar los rasgos más característicos, los fundamentos más importantes y las condiciones prácticas de aplicacion de este moderno medio de transporte. Tal es el objeto del presente libro.

En él no deben buscarse las exposiciones científicas á que ántes se alude; pero sí será fácil encontrar en sus capítulos todo cuanto es conveniente que conozcan las personas ilustradas, pero ajenas á estos estudios, y que acaso por su relacion ó conexiones tengan que entender en asuntos de ferrocarriles, de la manera que puede y debe tratarlos quien por su profesion no está obligado á ocuparse en el estudio de sus proyectos y en la direccion de sus construcciones.

Por esto, despues de exponer en el capítulo primero, en ligeros bosquejos, la descripcion general, ventajas é historia de los ferro carriles, como caractéres esenciales del asunto, se dedican el segundo á la enunciacion de los principios fundamentales del problema científico que entrañan estas vías, y el tercero á las importantes cuestiones del pro-

blema económico que con el establecimiento de las mismas se trata de resolver; y practicado este estudio analítico dentro de los límites prudenciales, se sintetiza en el capítulo cuarto, á la vez que se indica el procedimiento que debe seguirse para dar la solución más satisfactoria al difícil problema que plantea toda empresa al proponerse la construcción de un ferro-carril.

El carácter práctico de nuestro trabajo se patentiza claramente con lo que se deja expuesto. No será difícil, para la persona que lea con detenimiento los cuatro capítulos reseñados, formar exacta idea de las condiciones, importancia y utilidad de un negocio cualquiera de vías férreas, siguiendo en detenido exámen las circunstancias que se presenten en cada caso particular, y depurando el asunto cual corresponde á todos aquellos en que se interesan grandes capitales y legítimas aspiraciones. En este estudio servirán de seguro guía las bases generales que en dichos capítulos se establecen; y si al emplearlas como piedra de toque para discernir la exactitud de los cálculos en que se funde una empresa de

esta clase, y la confianza que pueda asignarse á las esperanzas que se presenten como garantía del desarrollo de la idea, se consigue adquirir el conocimiento necesario para desviar la cooperacion en un asunto que no obedezca á fundados principios, ó bien para prestarla decididamente en los muchos que aún falta plantear en nuestro país, y que pueden serlo por juiciosas empresas; si tales resultados llegase á producir este trabajo, quedaria realizada tambien la única aspiracion que se ha tenido presente al escribirle.

Los restantes capítulos, hasta el décimo inclusive, tienen por objeto dar á conocer lo que España ha hecho en ferro-carriles, y la tramitacion que siguen los asuntos de esta especie, como elementos indispensables para completar la exposicion de la idea anteriormente consignada.

EL
FERRO-CARRIL

CAPITULO PRIMERO

Estudio de conjunto

ARTÍCULO PRIMERO

Descripcion general de un ferro-carril

Muy pocas deben ser sin duda alguna, las personas, que al trasladarse de un punto á otro en ferro-carril, como vulgar é impropriamente se dice, no reconozcan las ventajas de este perfeccionado medio de transporte con relacion á los empleados exclusivamente en nuestro país en la primera mitad del presente siglo. Esta apreciacion, sin embargo, se reduce en la mayor parte de los individuos, á la inconsciente admiracion que expresan ante el hecho de la rapidez y comodidad de la marcha, rindiendo de este modo el merecido respetuoso tributo, y entonando un himno de alabanza al moderno invento, manifestacion de prolijas é importantísimas vigili-

de la humana inteligencia alumbrada por la brillante luz que emana del noble propósito de realizar el verdadero progreso. Tales vigiliass pasan, por desgracia, desapercibidas para la persona que cómoda y económicamente salva en algunas horas el trayecto que ántes le obligára á caminar durante varios días con grandes incomodidades y no pequeños desembolsos; y pasan desapercibidas, no en el sentido de que el trabajo científico deje de recoger su merecida corona, pues la admiración, ántes consignada, le concede este premio tan bien ganado, sino en el muy importante de que se desconoce el poderoso alcance moral y material que es consecuencia forzosa de aquellas vigiliass, y por lo tanto no se presta al estudio de asunto tan importante, toda la atención que corresponde á los grandes fines que realiza.

Fácil es, sin embargo, deducir, mediante el exámen detenido del hecho concreto de un viaje verificado con cualquier objeto, la importancia que entraña el establecimiento de un ferrocarril. El satisfecho deseo del viajero constituye la unidad, en sus infinitas variedades, que sirve para medir el conjunto de satisfacciones de nobles propósitos, que constituye á su vez la vida social. Y en el concepto elemental que se examina se encuentran también los fundamentos

esenciales que caracterizan este poderoso medio de civilización.

De estas consideraciones, naturalmente se deduce la dificultad que entraña el estudio completo del establecimiento de un ferro-carril, si han de tomarse en cuenta todos los elementos morales y materiales que influyen para determinar la solución que haya de adoptarse. Estudiando el ferro-carril desde el punto de vista de la ventaja más perceptible, ó sea de la rapidez en la marcha, que patentiza el gran servicio civilizador que pueden prestar estos caminos, por cuanto producen un considerable incremento de vida social, surge en la imaginación el utópico propósito de cruzar todas las naciones por cuantas vías fueren necesarias para que en el menor tiempo posible no se encuentre un centro, donde en mayor ó menor escala palpite un gérmen de vida social, que no disponga del poderoso medio que por ser incremento de dicha vida, coopere á desarrollar aquel gérmen, llevando al mismo todo cuanto sea necesario para conseguir un resultado tan beneficioso. Esta utópica idea se enlaza perfectamente, y aún puede decirse que es consecuencia lógica del elemental concepto que tiene de este poderoso medio de transporte, toda persona que no conoce el complicado mecanismo que constituye el conjunto,

llamado ferro-carril. ¿A qué se reduce éste para quien solo atiende á los hechos inmediatos que realiza? A la estacion ó edificio de donde parte; á un cómodo carruaje donde se coloca, que forma parte de un todo llamado tren, y que desliza sobre unas bandas de hierro fijas en el suelo; á otra estacion que se encuentra próxima á la poblacion, término de su viaje; á varios edificios delante de los cuales se detiene algunos momentos el tren, que son estaciones intermedias; y á una línea de cierto número de invisibles alambres sostenidos en postes de madera, alambres de igual longitud que el camino recorrido, y destinados á transmitir con la velocidad del rayo á miles de leguas todos nuestros pensamientos; invencion del siglo XIX, sin duda la más importante de cuantas ha creado la poderosa inventiva del hombre. Completan el cuadro de este mecanismo y sirven para prestarle risueño aspecto, distrayendo á la vez el ánimo del penoso estudio del elemento en que se mueve, los atractivos de la naturaleza que se presenta ante la vista en prolongado y variable panorama, tan rico de colores y múltiples transformaciones, como lo es en infinitas tintas el campo con sus numerosos productos de diversos tamaños y matices, la montaña con sus gigantescas rocas irregular y caprichosamente

amontonadas, los arroyos y rios con sus corrientes interrumpidas á la vista por los accidentes del terreno, y brillantes á los rayos del sol como cintas de plata que forman el atavío de la naturaleza, ó como espejos privilegiados donde se retrata la hermosura del cielo, que cubre la tierra con el ostentoso pabellon de ricas gasas, matizadas pródigamente por la luz como manifestacion del incesante movimiento productor de sus bellas armonías. Sin darse cuenta de ello, y por el hecho de ser trasladado en rápida velocidad, se encuentra el viajero dueño de la naturaleza, en lo que se refiere á esta percepcion estética; variáansele los puntos de vista con la celeridad que pudiera desear el artista más soñador; cada minuto contempla un nuevo paisaje formado por los mismos elementos que constituian el anterior, agrupados de diverso modo, merced á la variacion de aquellos puntos; y en estas multiplicadas fases en que contempla la naturaleza, encuentra á veces la excepcional disposicion que entraña la sublimidad de la belleza, brillando un momento en su imaginacion, como brillan los destellos del genio en la cabeza del artista, al sorprender la expresion de la idea que ha de inmortalizar su nombre. Con tales atractivos no es extraño que el viajero prescinda, siquiera sea por un mo-

mento, de la causa que le permite apreciar tales maravillas, y entusiasmado por la satisfacción que disfruta, cante tan sólo el inconsciente himno de alabanza.

¿Conoce, sin embargo, el viajero los elementos esenciales que constituyen el medio en que se mueve y que le permite realizar tantas cosas, no hace muchos años imposibles de realizar sin costosos sacrificios, y disfrutar satisfacciones que por ser consecuencias características de aquel medio, eran ántes desconocidas por completo? Las estaciones de origen y de término, lo mismo que las intermedias, tienen bien definidos sus objetos; en algun punto ha de empezar el camino, en algun otro ha de terminar, y por algunos sitios poblados ha de cruzar en su trayecto. Equivalen dichos edificios á las antiguas mensajerías de diligencias, y en cierto modo á las posadas donde se cambiaban los tiros de caballerías. Qué diferencia tan grande existe, sin embargo, y puede notarse entre aquéllos y éstos edificios! La amplitud de las estaciones, particularmente las de cabeza y fin de línea, determinada por el gran número de edificios de diferentes aspectos, manifiesta, sin posterior exámen, el extraordinario alcance del moderno medio de transporte. El establecimiento de diligencias reducido á una sala de mayores ó menores

dimensiones, se ha convertido en un gran edificio, verdadero monumento arquitectónico (en algunos casos) donde espaciosos salones están indicando que acudirá un gran número de viajeros, muy superior al de diez y ocho ó veinte que con dificultad podían acomodarse en un coche-diligencia. El pequeño escritorio del administrador de este servicio se ha amplificado de una manera tan notable, que constituye una extensa oficina, en la que tienen constante ocupación multitud de empleados. La acera de la calle, junto á la que esperaba la antigua diligencia, se halla hoy sustituida por espaciosos andenes cubiertos con elegantes y características armaduras de hierro, que en las estaciones principales cubren también enormes extensiones de terreno, donde esperan las filas de carruajes enlazados unos á otros, siempre en disposición de ser aumentados según lo exija el número de viajeros que se reúnan. El patio ó trastienda de la mensajería en donde se apiñaban los equipajes de los viajeros, juntamente con los bultos que habían de ser transportados, tiene también en la estación su equivalente, en un espacioso salón en el que pueden entrar los wagones en que han de transportarse dichos objetos, y donde con gran desahogo se pesan y facturan. Grandes cocheras colocadas en sitio conveniente sirven

para guardar los carruajes de mayor valor; y los de todas clases, comprendiendo los wagones de muy variadas formas, segun los objetos á que se destinan, y que sirven en general para el transporte de mercancías, se extienden en vastas planicies descubiertas, en buena disposicion para ser empleados, y marcando largas líneas de vehículos. Muelles cubiertos y descubiertos en doble comunicacion con la estacion y la ciudad, almacenan las múltiples mercancías que han de trasladarse á los trenes que se formen, para recorrer el camino, si son de salida, ó á los carros y camiones que han de conducirlos á la poblacion si fueren de llegada. Pero entre todos estos edificios hay uno en las grandes estaciones muy característico por la forma que afecta su planta, semicircular en la mayor parte de los casos, constituyendo una verdadera galería ó pórtico de un sólo piso, con sus severos arcos de medio punto apoyados en los pilares de fábrica que los separan. Bien pronto se comprende el objeto á que se destinan tales construcciones. Majestuosamente se dibuja bajo cada uno de dichos arcos, el contorno de la *locomotora*, vista de frente, y resguardada por este característico edificio, que no es otra cosa que un gran depósito ó cochera de máquinas; pero que debe considerarse como el edificio de más

importancia, no por la dificultad de su construcción, ni por su elegante aspecto arquitectónico, sino sencillamente por el objeto que guarda, la *locomotora*, en cuyo bien dispuesto aparato se han de reunir los gérmenes del movimiento, y de la extraordinaria potencia de este medio de transporte, tan superior á todos los demas.

Dos elementos tan sólo son necesarios para trasformar este inerte instrumento, en el sér organizado y en cierto modo vivo, que ha de arrastrar con asombrosa rapidez, de un punto á otro, las palpitations del sér inteligente, ensanchando en prodigiosa escala los horizontes de su vida. Estos dos elementos son el agua y el fuego, considerados como tales desde la más remota antigüedad; y que aprisionados hoy por la humana inteligencia, entre paredes de hierro, dóciles obedecen á sus racionales mandatos, y reconocidos á tan beneficioso vasallaje, proclaman con estridentes silbidos, su poderosa cooperación en la obra del trabajo comun. En situación oportuna y conveniente hállanse, por lo tanto, en las estaciones, depósitos de carbon y de agua.

Todas estas construcciones que constituyen generalmente la estacion de término de línea, tienen bien definidos sus respectivos objetos,

y se hallan enlazadas entre sí por el elemento que da su nombre á los caminos de hierro: por vías ó carriles. Las dos largas líneas de carriles sobre las que desliza el tren desde el punto de origen al de llegada, se ramifican en éstos por medio de numerosas derivaciones que enlazan todos aquellos edificios, formando una gran red por sus múltiples cruzamientos, establecidos con arreglo á las necesidades de los diversos servicios. Los viajeros han de apearse en el gran andén dispuesto para este objeto; la línea de dobles carriles que ha recorrido el tren en todo el camino, debe por lo tanto prolongarse hasta dicho andén. Las mercancías habrán de ser depositadas en los muelles dispuestos al efecto; en consecuencia, la vía general se bifurcará á cierta distancia, para permitir este servicio. La locomotora y carruajes que forman los trenes, ya sean de viajeros, ya de mercancías, han de ser conducidos desde el andén ó los muelles á los depósitos de una y otra clase de vehículos; nuevas vías deben enlazar unos y otros departamentos. La vasta extensión al descubierto ocupada por las filas de wagoes, está cruzada por las vías que señalan estas líneas de carruajes, y entre ellas deben disponerse las transversales que sean necesarias y las crucen para pasar fácilmente de unas á otras los vehícu-

los, permitiendo de este modo la formación de trenes. Las vías que establecen los enlaces entre el andén de viajeros y el muelle de mercancías con la cochera de locomotoras, llegan al centro del semicírculo planta de este edificio, en cuyo punto se dispone un sencillo mecanismo llamado placa giratoria, merced al cual se puede dirigir la locomotora por las vías radiales que parten de dicho centro á todos los departamentos de la cochera, en cada uno de los cuales se coloca una máquina. Otras placas se sitúan en los cruzamientos, en la mayor parte de casos en ángulos rectos, de las vías que sirven para enlazar otras paralelas. Por medio de este sencillo mecanismo, se consigue relacionar las vías unas con otras, cuando forman entre sí ángulos que difieren poco de un recto, y por medio de las agujas de los cambios de vía cuando los ángulos de que se trata son muy pequeños.

Fácil es deducir, despues de lo que antecede que se encuentra en las estaciones de cabeza y término de línea, todo cuanto se necesita para formar el *tren* que ha de conducir los viajeros y las mercancías de un punto á otro, recorriendo la doble línea de carriles que enlaza éstos y caracteriza el nuevo camino de tal modo, por más que no sean debidas exclusivamente á este

elemento las ventajas de tales vías sobre las ordinarias, que ha dado su nombre al mismo camino, hoy llamado de hierro, si bien no con toda la propiedad que fuera de desear.

La importantísima ventaja de la considerable reduccion de resistencia en la rodadura sobre las barras carriles, con relacion á la que hay que vencer sobre la carretera mejor construida y conservada en el arrastre de un vehículo cualquiera, se traduce en una notable economía, por cuanto con el mismo motor se podrán trasportar sobre las barras de hierro cargas mayores, ó la misma carga, si ésta estuviere limitada, con una potencia mucho menor. Tal ventaja se pronuncia en gran escala si se emplea un motor muy poderoso y que sea relativamente económico. Por esto, la aplicacion del vapor, dirigido en su accion por el ingenioso mecanismo de la locomotora, ha permitido alcanzar el prodigioso resultado que hoy realizan los ferrocarriles, y que seguramente estaba bien lejos de ser siquiera vislumbrado por los constructores de las antiguas vías romanas, en cuyas dos filas de losas, colocadas sobre el sólido cimiento de estos caminos, nos dejaron consignado que apreciaban en su verdadero valor la ventaja que en mucha mayor escala realizan las bandas de hierro sucesoras (merced al adelanto de la

industria) de las primitivas líneas de losas ó carriles de piedra.

Dichas bandas de hierro se extienden desde el punto de partida hasta el de llegada, y sobre ellas desliza el tren, ofreciendo á la contemplacion del viajero las diversas obras que exige el establecimiento del camino. Plegándose á las sinuosidades del terreno (dentro de los límites que permite el trazado de estas vías), siguiendo los valles, perforando las montañas, venciendo, en una palabra, todos los obstáculos que la naturaleza ofrece, se logra llegar de un extremo á otro del trayecto, con la extraordinaria facilidad que aprecia el viajero y produce su satisfaccion; pero que sólo se consigue despues de haber resuelto dificultades de primer orden, cuya importancia está consignada en esos atrevidos puentes de hierro que miden colosales longitudes y alturas, y en los importantes túneles cuyos desarrollos en algunos casos llegan á 12 y 15 kilómetros (1). Las especiales condiciones que en curvas y pendientes caracterizan los trazados de las vías férreas por efecto de las consideraciones que expondremos más adelante, ocasionan en muchos casos la construccion de obras de todas magnitudes desde la insignifi-

(1) Túneles del Monte Cenicio y San Gothardo.

cante tajea de 60 centímetros de vano hasta el puente de 160 metros de luz y 62 de altura (1), desde el terraplen y el desmonte de menores cotas, hasta los elevados malecones de tierra y profundas trincheras que miden 20 metros, y los túneles de las excepcionales dimensiones ántes consignadas. Para probar que en un camino de hierro se compendian todas las dificultades, basta indicar que tambien se encuentra una escala análoga á las anteriores, en lo que se refiere á edificios; desde la caseta del guarda encargado de cerrar la barrera que intercepta los cruces del camino cuando los trenes pasan, hasta la monumental estacion que se ha bosquejado anteriormente, se halla una série no interrumpida de construcciones, que por la variedad de los diversos objetos á que se destinan y el carácter de novedad de las necesidades que están llamadas á satisfacer, ofrecen ocasion sobrada de prolijo estudio, tanto por parte del hombre de ciencia, quanto por la del artista á quien corresponde resolver el moderno problema que ha arrojado al campo de las investigaciones arquitectónicas, la aplicacion del vapor, como fuerza motriz para el transporte.

(1) Puente sobre el Duero en el ferro-caril de Lisboa á Oporto.

Al contemplar, siquiera sea en conjunto, y tan ligeramente como ha sido forzoso diseñarle, el vasto cuadro de los trabajos que exige el establecimiento de un ferro-carril, empiezan á concretarse algun tanto los superficiales conceptos que se tienen de estos caminos, y se definen en cierta escala las ideas utópicas que pudieran surgir como consecuencia de aquellos superficiales conceptos, haciéndolas perder dicho carácter, y asignándoles el muy racional que les corresponde y sirve de base á las más beneficiosas empresas.

Para poder afrontar con pleno conocimiento de todos los antecedentes necesarios, el estudio del problema científico y económico que entraña la construcción de una línea férrea, es indispensable consignar las ventajas que sobre los demás medios de transporte ofrece el moderno que se examina.

ARTÍCULO II.

Ventaja de los caminos de hierro sobre los demás medios de transporte.

Conocido ya en conjunto el mecanismo llamado ferro-carril, indicados, aunque ligeramente sus principales elementos, y pudiendo apreciar en su verdadero valor el carácter distintivo

de cada uno, natural es ascender de aquella ligera exposicion, al exámen de los grandes fines que ya en parte han satisfecho y están llamadas á satisfacer en mayor escala, estas poderosas vías de comunicacion.

De este exámen será fácil deducir las inmensas ventajas que presentan tales caminos con relacion á los ordinarios medios de trasportes.

Como manifestacion sintética de estas ventajas presentábamos en el artículo anterior el inconsciente himno de alabanza, que hoy se dedica á este prodigioso invento por todos los pueblos á que llega su bienhechor influjo.

Analícemos ahora el fundamento de tales alabanzas, á fin de concederle de una manera racional los honores que legítimamente le corresponden.

No es preciso descender á la exposicion de la imperiosa necesidad que el hombre siente de trasladarse de un punto á otro, porque esta es perfectamente elemental, y en nuestro mismo organismo se halla marcado su primitivo y natural carácter; esta necesidad es conocida por todos como consecuencia de la ineludible obligacion que el hombre tiene de satisfacer los fines de su vida, considerada tanto desde el punto de vista individual, cuanto en lo que se refiere al colectivo ó social. Ya se considere bajo el as-

pecto de la satisfaccion de necesidades materiales, ó bien se atienda al prodigioso aumento del horizonte moral é intelectual, la velocidad que se alcanza en los ferro-carriles procura extraordinarias ventajas. Cuando se recuerda la pesada marcha de la primitiva galera de transporte, cuando se mira la no más veloz carrera de los vehículos que recorren los caminos ordinarios conduciendo á los centros de mercado los productos de la agricultura y de la industria, y se comparan con la rapidez del transporte que permiten los ferro-carriles, fácilmente se comprende la escala en que aquellos elementos pueden concurrir á hacer partícipes de tales productos á los países que se encuentren desprovistos de ellos.

En primer lugar, los motivos de accidentes en la marcha es evidente que disminuyen en la misma proporcion que el tiempo empleado en recorrer el trayecto; y este principio que es general para toda clase de transportes, tiene aplicacion importantísima en lo que se refiere al de viajeros, y no es menor la que puede hacerse tratándose del de mercancías, por cuanto en algunas influye considerablemente para determinar su concurrencia á los puntos de consumo. En lo que atañe á la primera puede hoy consignarse que el número de desgracias ocurridas en los ferro-carriles es insignificante con rela-

cion á las que tienen lugar en el transporte por medio de los carruajes ordinarios. La estadística que en nuestro país se ha llevado desde 1861 hasta 1872, permite deducir que ha habido en este período de tiempo un muerto por 1.260.631 viajeros, y un herido por 354.047. En Francia, durante los diez años comprendidos entre el de 1868 y el de 1878, resultan por año, como términos medios, 215 heridos y 21 muertos; y teniendo en cuenta que la circulación por las líneas férreas se ha elevado á más de 120 millones de viajeros, fácil es deducir la insignificante relacion en que se encuentran las desgracias personales con el número de pasajeros que han sido transportados.

Y no se crea, como pudiera temerse hace algunos años, que las mayores velocidades han de ser causa de mayor número de accidentes. El principio sentádo no deja de tener aplicacion exacta aún en los casos más extremos, pudiendo citarse en apoyo de tal afirmacion, lo que resulta de la estadística de los ferro-carriles de Inglaterra, donde la marcha se realiza con velocidades que llegan hasta 80 y 85 kilómetros por hora, como sucede en las líneas de Lóndres á Dower y Lóndres á York, y en las que el número de desgracias no pasa de un muerto por cada 4.500.000 viajeros.

Es debida sin duda alguna en no pequeña escala tan trascendental ventaja, á la aplicacion del principio general ántes establecido; pero no es ménos cierto que ejerce influencia extraordinaria, cooperando á este beneficioso resultado, la bien entendida organizacion de los diversos servicios que entraña toda empresa de ferrocarril. Por efecto de su poderoso alcance y de la magnitud de los medios de que dispone, el mecanismo que constituye estas vías funciona con la regularidad indispensable para realizar los fines que está llamado á satisfacer. La division en las diversas dependencias y la acertada reglamentacion en todos los servicios, son garantías de la seguridad y exactitud con que éstos se realizan.

No es en manera alguna posible obtener análogo resultado, en cuanto atañe á la seguridad, con los medios ordinarios de transporte. Los caracteres de estos medios, siquiera sea el mismo el fin á que tienden, difieren considerablemente en el elemento más importante, que es la extension de su alcance; y por lo tanto, ni para ellos se ha estudiado una organizacion general, ni por muchas que fueran las prescripciones que se fijáran, sería dado en modo alguno precaver todas las circunstancias, que tanto por efecto de la falta de regularidad en el mecanismo, cuanto

por la desacertada aplicacion del más racional criterio, pueden ser causa de multitud de accidentes desgraciados.

La diligencia que parte de la administracion y recorre una carretera, no tiene marcado su camino de tan invariable manera como tiene definido el suyo el tren que parte de la estacion y rueda sobre los carriles. En el primero pueden presentarse circunstancias especiales, siquiera sea en el cruce con otros carruajes, que han de ser apreciadas y resueltas rápidamente por el mayoral, en cuyas manos realmente se encuentran en algunos casos, no sólo las bridas merced á las que dirige la marcha de los caballos, sino tambien las vidas de los viajeros. El conductor de un tren es, por el contrario, automático; el mecanismo que maneja le marca los detalles de la marcha, y sólo un verdadero descuido puede ser causa de que una irregularidad no prevista en las funciones del mismo, origine accidentes desgraciados, pues cuenta con todos los elementos necesarios para penetrar, pudiéramos decir, en las entrañas del gigantesco caballo que arrastra la larga fila de vehículos que constituyen el tren. En una palabra, el mayoral se ve obligado á obrar la mayor parte de las veces por aproximacion y mediante sus propias y exclusivas aproximaciones, y el maquinista

puede obrar siempre con arreglo á las indicaciones de un criterio muy superior al suyo, y que se hallan consignadas en el aparato que está encargado de manejar.

En el servicio de ferro-carriles, por otra parte, el viajero tiene siempre á su lado un poderoso auxiliar que no le abandona un momento desde el principio al fin de su viaje; que establece íntima é indispensable relacion entre todos los servicios, permitiendo que llegue á cualquier punto del camino por invisible y misterioso mecanismo la inteligencia directora; y merced á esto, que ofrece firme garantía al viajero de la exactitud con que debe realizarse todo cuanto á su viaje se refiere, le permite esperar confiadamente, en que si algo imprevisto se verificára, pronto aquel poderoso auxiliar, mudo en apariencia, pero cuyo eléctrico acento recorre con prodigiosa velocidad las mayores distancias, inmediatamente daría cuenta de lo sucedido, y facilitaría la más pronta llegada de cuantos elementos fueren necesarios.

Y si tales beneficios realizan el principio anteriormente expresado, en lo que corresponde á el aumento de velocidad en la marcha, y la extensa y bien entendida organizacion de servicios que es indispensable en todo ferro-carril, por cuanto corresponde á la seguridad de los via-

jeros, no son menores ciertamente los que se consiguen en el transporte de las mercancías. La rapidez en la marcha ha permitido trasladar de un punto á otro productos naturales, en cuyo transporte ni siquiera se habria pensado ántes del descubrimiento de los ferro-carriles, porque alejaba de la imaginacion tal propósito, el convencimiento de que no habian de resistir sin estropearse la larga duracion del viaje. Hoy se colocan, por ejemplo, en los salones de Madrid las bellas flores que ayer por la mañana fuéron cortadas de sus tallos en los vergeles de Valencia y Murcia, y se sirven en las mesas los sabrosos pescados de la costa Cantábrica, con todos los caracteres de frescura tan elogiados por los viajeros de hace cuarenta años en sus *atrevidas* excursiones á Santander y Bilbao.

Por otra parte, los bien dispuestos wagones que se destinan en los ferro-carriles para el transporte de mercancías, permiten la llegada de éstas á su destino sin sufrir deterioro alguno, pudiendo asegurar que en la mayor parte de los casos se hallan más expuestas á sufrirlos en el transporte necesario á la estacion ó desde la estacion, que en el largo trayecto que recorren por ferro-carril desde la poblacion de donde salen, á la poblacion á que se conducen. Es evidente, como consecuencia de todo lo expuesto

que la velocidad por sí sola presta importantes servicios; pero en verdad puede decirse que si en esto solo consistiera la diferencia entre el moderno y los antiguos medios de transporte, las ventajas que aquél procurara quedarían reducidas á tan limitada esfera, que no sería posible, en manera alguna, encontrar justificado el himno de alabanza que se tributa al moderno invento.

Ya se consignaba en el anterior artículo, é implícitamente se ha manifestado en lo que precede, que la superioridad del ferro-carril se encuentra en el armónico consorcio de los dos elementos que le caracterizan: rapidez en la marcha y poderosa fuerza de arrastre, conseguidas con un gasto relativamente muy pequeño, ¿Qué se obtendría de la velocidad si ésta no podía aplicarse más que á un pequeño y ligero vehículo, y el conseguirlo ocasionaba crecidos gastos? Cuán distintos son, por el contrario, los resultados que la imaginación prevee, cuando se estudia, la fórmula característica del ferro-carril. Las ventajas que la velocidad pudiera proporcionar á los privilegiados individuos que estuvieran en condiciones de aprovecharlas, se amplifican en prodigiosa escala al hacerse extensivas á un número muy superior de individuos, que podrán alcanzarlas merced á la potencia del me-

canismo y á la baratura del transporte. Enlazados aquellos dos elementos, es fácil concebir el movimiento de toda clase de productos, ya sean lijeros, delicados y de gran valor, ya sean, por el contrario, pesados, bastos y de pequeña estima por su abundancia en el punto donde se producen ó se encuentran, pero de gran aplicacion fuera de dicho punto, y puestos en contacto con otros que les sirven de complemento, constituyendo la base fundamental de gran número de poderosas industrias. Buen ejemplo ofrecen los carbones, que trasportados económicamente al lado de las minas de hierro, permiten aprovechar las enormes riquezas que éstas guardan; los materiales de construccion resistentes y elegantes, que separados á grandes distancias de los centros de poblacion, á éstos pueden ser llevados, merced exclusivamente á la baratura y potencia del medio de transporte, para transformar acaso el aspecto de las ciudades, generalizando su empleo en la mayor parte de los edificios; los minerales de todas clases, los productos agrícolas y los industriales, y en una palabra, todo cuanto imaginar sea dado, pues á todo alcanza y para todo sirve el ferro-carril por efecto de los especiales caractéres que le distinguen.

Y si del exámen de lo que atañe á este as-

pecto de movimiento en tan gran escala, se desciende al estudio de las consecuencias que de él naturalmente se deducen, fácil será comprender el aumento de actividad que origina y las inmensas ventajas que reporta. Los que ántes fuéron campos abandonados, por más que reunieran sobrados elementos de riqueza, se trasformarán, seguramente, en hermosos sembrados y viñedos, porque ya el trabajo que en ellos emplee el hombre, obtendrá su legítima recompensa. Y si en la localidad no hubiera poblacion suficiente para labrarlos, á ella acudirá una nueva poblacion ávida del bienestar, que siempre es merecido premio del trabajo. Y si aquellos campos pueden ser más productivos, merced á la construccion de ciertas obras, éstas se llevarán á cabo, sin duda alguna; el agua, por ejemplo, será separada de los cauces de los rios ó arroyos, ó sorprendida en ocultos manantiales, para conducirla por medio de bien estudiados canales á todos los puntos donde sea necesaria y pueda prestar su eficaz cooperacion al trabajo de la tierra y de los hombres. Entre éstos, por lógica deduccion, se desarrollarán nuevas ideas. El bienestar relativo que consignan, dará origen á legítimas aspiraciones y deseos ántes desconocidos; la choza de tierra se convertirá en cómoda vivienda, y la miserable y sucia aldea en

elegante y bien cuidado caserío. Nada tiene de utópico este porvenir para algunas localidades, por cuanto puede presentarse el resultado obtenido con la construcción de los ferro-carriles en los Estados Unidos de la América. En ésta, hoy poderosa nación, se han fundado muchas poblaciones al mismo tiempo que se construían los ferro-carriles; y este convincente ejemplo muestra mejor que otro alguno, hasta qué punto son provechosos estos caminos, pues no sólo sirven para desarrollar amplificando los elementos de vida ya existentes, sino que aún alcanza á darlos nacimiento cuando se dirige su construcción por la inteligente actividad del hombre.

Y si tales prodigios realizan los ferro-carriles en el terreno material, aún son mayores y de más trascendencia por cuanto son fundamentales, los que permiten conseguir en la esfera moral y del verdadero progreso. ¿Cómo es posible imaginar siquiera, que sin el moderno medio de transporte se hubieran realizado las magníficas exposiciones universales que de tal modo y en tan extraordinaria escala ensanchan los horizontes de la vida intelectual? Estos grandes concursos son debidos exclusivamente al establecimiento de los ferro-carriles, merced á cuya potencia, rapidez y economía es posible trasladar á un punto determinado, las manifestacio-

nes del trabajo en sus numerosas variedades

¡Cuántas riquezas era preciso poseer hace medio siglo para recorrer la Europa! Contados individuos podían disfrutar esta ventaja, que en último resultado se traduce en la adquisición de innumerables conocimientos. Hoy, si no es dado á todos conseguir este beneficio, se ha realizado el inmenso progreso de que puedan alcanzarlo, entre otros muchos, los que forman el grupo de las inteligencias distinguidas, que extendiendo de este modo el campo de sus provechosas investigaciones, las dan á conocer á los demas por medio de la publicacion de sus utilísimos trabajos.

Los grandes inventos de la humanidad no sólo son conocidos por el anuncio que de ellos hace la potente voz del telégrafo eléctrico, sino que pueden ser trasladados íntegramente, cuando son característicos de una localidad, merced al veloz impulso que les comunica el vapor, aprisionado en la locomotora.

Las ciencias naturales, que tienen por gabinete la vasta extension de toda la tierra, son deudoras al ferro-carril de gran parte del adelanto que hoy han conseguido. La Geología, por ejemplo, ha podido leer mayor número de hojas del colosal libro, cuyo sentido está destinada á desentrañar. La Historia natural, en sus

tres ramas, puede hoy recorrer el mundo con mucha más facilidad en busca de los ejemplares que tiendan á completar sus ya muy nutridas clasificaciones. La Física puede repetir sus experimentos en multitud de parajes, á fin de comparar los resultados y comprobar las leyes que constituyen su estudio.

La instruccion primaria es deudora tambien al ferro-carril de un no pequeño progreso. Este medio de transporte permite establecer bien dotados centros de enseñanza á los cuales concurriran los niños, desde algunas lèguas, reducidas á un pequeño viaje por la mañana y otro idéntico por la noche. En España, donde por desgracia, no se dedica á este importante asunto toda la atencion que merece, aún no se ha adoptado este procedimiento que tan provechosos resultados produce en los países que le han establecido, resolviendo de este modo la dificultad verdaderamente insuperable de disponer en cada pueblo un centro de enseñanza con todos los elementos necesarios. Dia llegará, sin embargo, en que comprendiendo las ventajas de tal procedimiento, se aprovechen con este fin las múltiples y exclusivas que ofrecen los ferrocarriles.

La salud, la distraccion y hasta la curiosidad, deben grandes beneficios á los caminos de hie-

rro. Los viajes económicos á los establecimientos balnearios, y los trenes de recreo proporcionan sobradas ocasiones de alcanzar la salud para el cuerpo, y la distraccion, que es alimento del alma, en los individuos que consagran al trabajo la mayor parte de su vida.

De la misma manera que el carbon y el hierro, puestos en contacto, hacen que surja la industria: puestas en contacto tambien las costumbres, las relaciones sociales, los descubrimientos, los usos y los adelantos característicos de cada país, dan por resultado el establecimiento de la gran fábrica de las ideas, de la cual se obtienen como productos el verdadero progreso moral y la civilizacion de los pueblos. Todo cuanto coopere á acumular aquellos materiales será beneficioso al desarrollo de la industria: todo cuanto tienda á reunir mayor número de datos y conocimientos útiles, será elemento digno de alabanza en la grandiosa fábrica de las ideas. Esta es la noble cooperacion del ferrocarril en uno y otro terreno.

Los caminos de hierro, oportuno es consignarlo, realizan en parte la utópica aspiracion expresada en la frase del poeta al pedir «alas» para remontarse á todas las esferas. Preludio de la realizacion de este entusiasta deseo, es la vía férrea, que aproximando los pueblos unos á

otros, haciéndolos partícipes de sus penas y alegrías, en una inmensa familia les convierte; y extendiendo prodigiosamente los horizontes de su vida, al destruir las distancias, en busca de su perfección, siguen huellas materiales parecidas á las del génio al elevarse á las prodigiosas alturas de lo verdadero, lo bueno y lo bello, cuyo resplandor está velado á la vista del hombre por las densas nieblas de la ignorancia, que aquel rasga en la veloz carrera de sus espléndidas concepciones.

Ahora bien, lo que tantos beneficios realiza, no se ha conseguido sino á espensas de enormes sacrificios. El ligero bosquejo histórico que constituye el objeto del siguiente artículo pondrá de manifiesto esta afirmación tan triste, cuanto forzosamente ineludible en las manifestaciones de la vida.

ARTÍCULO III.

Bosquejo histórico acerca del establecimiento de los ferro-carriles.

Dos elementos esenciales, decíamos en el primer artículo, caracterizan á los caminos de hierro: los carriles de este material y la locomotora. Enlazados íntimamente tales elementos constituyen el moderno medio de transporte.

De la época que marca en la historia la civilización romana, data el conocimiento del principio fundamental que en tan provechosa escala se aplica hoy, merced al adelanto de la industria, con la adopción del hierro en la fabricación de los carriles. Ya hemos consignado anteriormente, que la disminución en el rozamiento de rodadura de las ruedas de los vehículos, sobre el camino, fué aplicada por los romanos, que procuraban conseguir esta ventaja disponiendo en sus vías dos filas de losas paralelas y separadas una de otra en una longitud igual á la de los ejes de los carruajes, que de este modo podían ser movidos más fácilmente. Con posterioridad á dicha época, se variaron los materiales de que se formaban aquellas fajas; pero aún en el año de 1865 se conservaban caminos con bandas de piedra en Lóndres y en Milan, y con bandas de madera, había no pocos en los Estados Unidos.

En unos y otros se empleaba el motor animal; y por lo tanto no pueden considerarse más que como recuerdo de los primitivos, en los que se encontraba una ventaja con relación á las vías desprovistas de tales bandas, y que era natural se conservase.

La sustitución de los citados materiales por el hierro, determina un verdadero progreso en

la construcción de estos caminos, y es interesante, ó por lo ménos curioso, indicar dónde y en qué fecha se emplearon por primera vez.

Atendiendo á la estructura especial de estas vías es fácil comprender, que han de tener aplicación cumplida en aquellos servicios, que estén marcados con el sello de la regularidad, determinado por la igual separación transversal de las ruedas de todos los vehículos destinados á transitar sobre ellos. Si el ancho de las bandas no es muy considerable, se comprende fácilmente que pueden prestar tan sólo un servicio parcial, si no existe la consignada igualdad en el elemento de los carruajes que sirve para fijar su separación ó distancia; y únicamente podrán aprovechar la ventaja que prestan tales barras, los vehículos que tengan una longitud de ejes igual á dicha separación, sirviendo los demás realmente para destrozar el camino, si éste, como es natural, hallándose constituido de aquel modo, no ofrece en todos sus puntos idéntico grado de resistencia, que el proporcionado por las bandas de uno ú otro material.

Hé aquí porqué tal disposición tiene aplicación cumplida en todos los casos en que el camino es suplemento indispensable de una industria especial y regularizada; y esta es la razón de que se adoptase con preferencia en

las explotaciones de las minas, donde era preciso trasportar grandes pesos con el menor coste posible, y donde los carruajes indispensables para el transporte habian de tener el carácter de unidad, determinado por las condiciones del único producto que habia de trasportarse. Natural era tambien que se procurase emplear en las bandas, el material más resistente, á fin de conseguir la mayor economía, disminuyendo en lo que fuera posible el crecido coste de la reparacion, á que sin duda darian lugar las primitivas filas de losas ó de largueros de madera, regularizando tambien este elemento, una vez que se contaba con la regularidad del vehículo, merced á lo cual podria reducirse el ancho de las bandas á la magnitud estrictamente necesaria para el servicio á que se destinaban.

Aplicando este criterio, se establecieron los primeros caminos de hierro en Inglaterra, hácia el año de 1650 para servir las minas y fábricas de Northumberland, del país de Galles y de Stafforshine.

Hoy puede y debe considerarse esta ventajosa modificacion como una de las principales etapas por que ha pasado el establecimiento de los caminos de hierro; y así se califican los que se han indicado, porque en ellos se empleó ya uno de los elementos que caracterizan las vías modernas.

La industria de los trasportes no se realiza exclusivamente con la existencia del camino: otro elemento es indispensable para su desarrollo: el motor.

En los caminos de las minas de Inglaterra no se hacía uso de otro motor que la fuerza animal; y tal fuerza, si podía servir un transporte de cierta magnitud y satisfacer necesidades apremiantes en pequeña escala, estaba muy lejos de proporcionar la actividad y economía que son condiciones indispensables en toda fabricación ó explotación de alguna importancia. Era natural, por consiguiente, que á medida que la industria perfeccionaba sus procedimientos, tanto para extraer del seno de la tierra mayor cantidad de materiales, cuanto para conseguir su más ventajosa aplicación, bien como cooperadores en otros trabajos, bien para la satisfacción de necesidades de diversa índole mediante su transformación en los objetos que á tal fin se destinasen, se sintiera la necesidad de aproximar tales materiales á los centros en que su cooperación fuera indispensable; y que esto se llevara á cabo con la mayor rapidez posible y con la prudente economía, dentro de los límites fijados por el racional beneficio de tan provechosas industrias.

Ya la fuerza animal había sido sustituida en

la mayor parte de las fabricaciones, por la muy poderosa de otro agente, que durante una larga serie de siglos sólo habia proporcionado á los hombres ocasion de admirar los variantes colores de la luz en las salidas y posturas del sol, tras los caprichosos grupos de las nubes constituidas por tal agente, que alardeaba perezoso, en su natural y primitivo estado, de eficaz cooperador en la manifestacion estética, y que aprisionado y dirigido por el escocés James Watt con superior ingenio en la máquina de su nombre, ha patentizado el poderoso germen que encerraba en su seno, ensanchando su esfera de accion en beneficio del hombre.

Fácil es, por lo tanto, comprender que á principios del presente siglo en que sintetizados por el citado constructor en notabilísimo conjunto todos los trabajos intelectuales y prácticos de los que le precedieron, encaminados á conseguir la más útil aplicacion del vapor como fuerza motriz, se pensára en hacer extensivas las ventajas que en el artefacto fijo del establecimiento industrial producía la máquina de Watt inventada en 1765, al medio de transporte empleado en las grandes minas y fábricas, donde tantos beneficios económicos podría producir. Si la pieza que en el aparato fabril desliza entre dos guías, era impulsada en su movimiento de

uno á otro lado por la fuerza del motor inanimado, sucesora de la del animal que anteriormente la ponía en inconsciente actividad; ¿por qué no habria de intentarse análoga sustitucion, en la grande, pero no por esto más complicada máquina de los trasportes, que tiene por sala la indefinida extension del terreno, por techo el cielo y por extremos las dos poblaciones que enlaza el camino, ya comparable á aquellas dos guías del aparato fabril, merced á las dos bandas de hierro por donde ha de deslizar el vehículo, que en este trabajo del transporte desempeña el mismo papel que aquella pieza guiada en el aparato, á que da movimiento el inanimado motor de la instalacion industrial?

A resolver este problema se aplicaron muchos constructores de máquinas, y principalmente debe citarse al célebre Watt, que en 1784 presentó un aparato algun tanto adecuado á su objeto; pero que como todos los propuestos con el mismo fin, adolecia de un defecto capital, consecuencia lógica de una proposicion errónea sostenida como axiomática por el ingeniero Trevithick. Triste es tener que consignar como la primera de las contrariedades que se opusieron á la acertada resolucion de tal problema, y por lo tanto, al más rápido desarrollo del establecimiento de los caminos de hierro,

un concepto intelectual perfectamente equivocado, y que acogido, merced á la fuerza de la autoridad científica, divorciada del indispensable consorcio de la experimentacion, dió por resultado várias tentativas desprovistas de verdadera aplicacion, si bien en realidad no lo estaban de ingenio y buen deseo.

Por esto, al llegar al presente punto de la historia que á grandes rasgos se bosqueja, forzoso es citar en preferente lugar, como de campeones avanzados, los nombres de Blakette, Jorge Stephenson y Márcos Seguin, á quienes se deben sin duda alguna la moderna locomotora; por cuanto los dos primeros en Inglaterra y el último en Francia, resolvieron respectivamente cada una de las tres principales dificultades que entrañaba la aplicacion del vapor á la locomocion; debiendo consignar, sin embargo, que á Stephenson corresponde la honra de haber sido el sintetizador de estos descubrimientos importantísimos y el más constante propagandista del empleo de la locomotora en los caminos de hierro.

M. Blakette, propietario de la hullera de Wylam, cooperó en prodigiosa escala á la resolucion del problema, destruyendo con una sencilla observacion de carácter práctico, el equivocado axioma á que anteriormente se ha hecho

referencia, y que se formulaba por su autor en la siguiente frase: «No siendo suficiente la adherencia entre dos superficies planas, las ruedas de los carruajes resbalarán sobre un carril liso y se perderá la fuerza de impulsión.»

Seguramente, parece hoy extraño que estando reconocido en aquella época como único y eficaz el criterio de la experimentación en el terreno de las ciencias físicas, no se adoptase para depurar la exactitud del axioma de Trevithik, antes de proceder á la construcción de máquina alguna. Este funesto olvido dió por resultado la construcción de la locomotora de Blenkinsop, en la que una rueda dentada movida por el vapor y engranando con una barra labrada de igual modo, y constituyendo una verdadera cremallera, proporcionaba la adherencia que era indispensable crear, admitiendo el consiguado principio; y al mismo fin tendia el ingenioso aparato de M. Brunton, que en realidad no era otra cosa que un verdadero caballo de hierro, cuyas patas se movian por medio del vapor.

Al consultar M. Blakette á la experiencia vió que el peso sólo de la máquina desarrollaba en el contacto de las ruedas con el carril la adherencia necesaria para producir el movimiento del tren; y éste indiscutible resultado

puso término á los ensayos, que reconocian por único fundamento el axioma, que con el mismo quedó reducido á sus prudenciales y justos límites, perdiendo por completo el absoluto carácter que debia exclusivamente á una afirmacion teórica.

Desde este momento estuvieron debidamente encaminados los esfuerzos que se emplearon en la resolución del problema. Muchas fuéron las combinaciones que se idearon para perfeccionar la primitiva locomotora; pero entre todas ellas son las más importantes: el haber conseguido el aumento de la superficie de calefaccion, y por lo tanto, de la rápida produccion del vapor, por medio del empleo de la caldera tubular, debido á Márcos Seguin, y el incremento de actividad en el hogar, merced al ingenioso aparato que permite obtener un tiro considerable en la chimenea, y que fué ideado por Stephenson. De ambos aparatos tendremos ocasion de ocuparnos al hablar con mayor detalle de la locomotora, sin que sea preciso consignar ahora más de lo que precede, para marcar esta segunda é importantísima etapa del establecimiento de los ferro-carriles, una vez que los elementos indicados caracterizan la locomotora de tan perfecta manera, que desde que en 1829 fuéron presentados reunidos en la máquina construida por

Stephenson y que llevaba el nombre de «Co-hete,» puede decirse que data la definitiva adopción de estos caminos.

Conveniente es fijar la atención en lo ocurrido en el citado año 1829 en Inglaterra; porque si bien el hecho á que se alude no produjo el estruendo que sigue á las victorias conseguidas por la fuerza, entraña la conquista más notable de la actividad y de la inteligencia del hombre en el presente siglo, una vez que sirvió de sanción al invento que realiza los numerosos beneficios expuestos ligeramente en el artículo anterior.

Cuán grata nos sería la tarea de reseñar los detalles de la aprovechada vida de Jorge Stephenson, el oscuro minero de Newcastle, que consiguió á fuerza de perseverancia, laboriosidad y entusiasmo elevar su nombre á la altura de los más distinguidos de la Europa. Pero ya que esto no es posible, dado el objeto que nos proponemos, convendrá indicar, por lo que atañe á este mismo objeto, y como prueba de las contrariedades que encuentra en su camino el planteamiento de las más provechosas ideas, los sacrificios y disgustos que ocasionó á este inteligente hijo del trabajo la construcción de la primera línea férrea de Inglaterra, dotada de las condiciones que presentan las que hoy cruzan

en todos sentidos la superficie de la tierra (1).

Desde 1821 se sentia en Liverpool y en Manchester la imperiosa necesidad de establecer una vía que permitiera trasportar de una á otra poblacion las primeras materias de la industria algodonera, que habian de ser manufacturadas en Manchester, y llevadas despues de verificada esta trasformacion á Liverpool para ser exportadas. El considerable aumento de esta industria exigia una vía perfeccionada, y desde la citada fecha se pensaba en la construccion de un tranvía, ó sea un camino de hierro servido por fuerza animal. Habiendo tenido noticia la empresa que se ocupaba de este asunto, de que J. Stephenson habia construido el camino de hierro de Stokton á Darlington, y se encontraba al frente de una fábrica de locomotoras, creyó conveniente consultarle acerca del establecimiento de la línea de Liverpool á Manchester; y despues de haber adquirido la seguridad de que dicho individuo reunia condiciones superiores, no vaciló un momento en encargarle el estudio de esta vía. Obligado se vió Stephen-

(1) Si se desea conocer la biografía de J. Stephenson, puede consultarse la notable obra titulada *Héroes de la civilizacion*, por D. José A. Rebolledo, Ingeniero de Caminos, etc.

son á trabajar de noche en muchos casos para adquirir los datos necesarios en averiguacion de las condiciones técnicas y económicas del camino; pues desde el momento en que se tuvo noticia de que se trataba de construir un ferrocarril servido por locomotoras, pusiéronse en juego por el egoismo y la envidia todas las malas artes de que disponen estas viles pasiones, para convencer á las sencillas gentes del país de los graves inconvenientes que ofrecia tal propósito. Tuvo, sin embargo, al fin la satisfaccion de presentar un proyecto, que si no era todo lo detallado que se hubiese conseguido practicando los estudios sin sostener tan formidable lucha, bastaba en suficiente escala para servir de base á una concesion. Pedida ésta por la Empresa, y habiéndose presentado una terrible oposicion en el Parlamento inglés, Stephenson sufrió las amarguras del martirio científico al ver sostenida por personas notables la opinion de que su proyecto debia ser considerado por todo el que conociera el terreno, como el colmo de la ignorancia, y como lo más absurdo que hubiese concebido mente humana. Como consecuencia de esto fué negada la concesion por el Parlamento de la nacion inglesa, donde existia en explotacion la línea de Darlington.

En 1826 fué por fin aprobado el proyecto y

concedida la construcción; y después de emplear la actividad más extraordinaria en la ejecución de las obras, fué recorrido el camino por la primera locomotora el día 1.º de Enero de 1827.

A pesar de la experiencia que ofrecía la explotación de la línea minera de Darlington, patentizando las grandes ventajas del empleo de la locomotora, los empresarios del camino de Liverpool á Manchester no se habían decidido aún á emplearlas. El genio y la laboriosidad de Stephenson no descansaban un momento en su constante propósito de realizar en el aparato las modificaciones necesarias para trasformarle en el motor único de los caminos de hierro. Este constante trabajo y tan laudables esfuerzos consiguieron el merecido premio el día 1.º de Octubre de 1829, en que tuvo lugar el magnífico concurso de locomotoras, anunciado convenientemente por los empresarios, y en el que presentó Stephenson su máquina Cohete, síntesis de todos los perfeccionamientos que se habían imaginado para realizar el tan deseado objeto, y que en este singular y civilizador combate quedó vencedora de las otras cuatro, presentadas por diversos constructores, marchando hasta con una velocidad de 40 kilómetros por hora.

En este bienhechor certámen recogió Stephenson el fruto de sus no interrumpidas tareas

en pro de la causa de la civilizacion, habiendo ésta enriquecido su honroso escudo con el brillante timbre de tan beneficioso invento, sancionado en el concurso de locomotoras por la admiracion y el entusiasmo de toda Inglaterra.

La explotacion de la línea de Liverpool á Manchester inició en realidad la nueva industria de los trasportes; y á partir del año 1829 empezó á iniciarse tambien en todas las naciones de Europa y de América el establecimiento de tan provechosa industria.

No podemos seguir paso á paso el desarrollo de la misma, porque tal objeto excederia los límites de nuestro trabajo; pero sí conviene consignar que no fué España la más reacia en acoger tan notable mejora. Y si bien las vicisitudes políticas, que en triste panorama se registran en la historia correspondiente al primer tercio del siglo presente, impidieron construir más pronto algunos caminos de esta naturaleza, es lo cierto que ya en 1830, es decir, poco despues del establecimiento de la primera línea de Inglaterra, fué proyectado el ferro-carril de Jerez al Puerto de Santa María, y en 1834 se solicitó la construccion del de Reus á Tarragona.

El gran impulso dado al establecimiento de los ferro-carriles españoles data sin embargo de 1855, por más que pocos años ántes se hu-

bieran ya construido varias líneas, y entre ellas pueden citarse las de Barcelona á Mataró, puesta en explotación en 1848, y la de Madrid á Aranjuez en 1851, que merece especialísima mención por las grandes dificultades que fué preciso vencer á fin de colocar en el centro de España todo el material para la explotación, y muy particularmente las locomotoras, que fueron llevadas desde la costa siguiendo caminos casi por completo inaccesibles. Bien conviene consignar, por lo que atañe al prestigio de nuestra nación, que corresponde la honra de haber vencido todas estas dificultades al genio emprendedor del ilustrado capitalista D. José de Salamanca, á quien España es deudora del planteamiento de ésta y otras importantes mejoras; y á quien no tienen poco que agradecer también, por análogo concepto, Italia y Portugal, á cuyos países le condujeron su poderosa iniciativa y emprendedor carácter.

En 1823 se autorizó en Francia la construcción del ferro-carril de Saint-Etienne á Andrieux, destinado al transporte de carbones; y poco después se concedieron análogos permisos para el establecimiento de los de Saint-Etienne á Lyon y Saint-Etienne á Roanne. Esto, no obstante, decía en 1832 un ministro francés, que había visitado los ferro-carriles ingleses, y que

no podía concederles el alcance é importancia, ni áun el desarrollo material que se les concedía.» Tal frase demuestra que no se admitieron tan fácilmente en Francia los caminos de hierro, y que, como en todas partes, fué para esta nación motivo de conceptos equivocados y apreciaciones erróneas el planteamiento de la nueva idea. Equivocaciones de esta naturaleza eran, la opinion, de que el precio elevado del hierro sería un grave obstáculo en la construcción de los ferro-carriles, sostenida por un ministro de Hacienda: el aserto mantenido por un sábio ilustre, de que al entrar en los túneles se experimentaría un cambio de temperatura de 40° ó 45° á 8° y que esto produciría enfermedades; y por último, la manifestacion del temor que abrigaba un diputado de que los terraplenes deslizasen por las laderas.

A pesar de esto, en 1835 se constituyeron las grandes compañías, y se emprendió con actividad la construcción de los ferro-carriles.

En Bélgica se dió en 1834 la ley decretando la construcción de la red de caminos de hierro, que hoy está terminada.

De 1830 á 1840 se emprendieron en Alemania los ferro-carriles, habiendo proyectado y construido la primera línea el célebre ingeniero Von Denis.

Italia dió principio en 1846 á la construcción de la difícil línea de Turin á Génova.

En Suiza formó, en 1852, el plan de ferrocarriles Roberto Stephenson, hijo de Jorge, el inventor de la locomora. Del mismo año data la construcción de estas líneas en Portugal.

En Rusia se hallaba ya establecida en 1840 la línea de Saint-Petersburgo á Tsarkoeselo; y en este mismo año concibió el emperador Nicolás la civilizadora idea de construir una gran red que enlazase todas sus vastas posesiones europeas. A tan laudable propósito, que por desgracia no pudo realizarse, cooperaban los nobles del imperio haciendo grandes concesiones y otorgando franquicias y privilegios.

En Suecia se solicitó en 1848 autorización para construir la línea que había de poner en fácil comunicación los lagos Malgane y Hjilmare con el de Wessern.

Y á la vez que en Europa se desarrollaba, con no pequeña actividad, el establecimiento de estas poderosas vías, los Estados Unidos de América, que ya en 1828 habían dado una prueba de su genio emprendedor en cuestiones de adelantos materiales, comenzando entre otras la construcción del ferrocarril de Baltimore á l'Ohio, realizaron el portentoso resultado de establecer desde el año de 1835 hasta el de

1852, una red de caminos de hierro de 17.410 kilómetros, teniendo además en vías de construcción otros 17.549 kilómetros.

En los demás Estados de ambas Américas no se empezó en realidad la construcción de estas líneas hasta después del año de 1850.

Y por lo que afecta á Asia, Africa y Oceanía, puede decirse que no se establecieron ferro-carriles con anterioridad al año de 1865, si se exceptúa en la primera las líneas de la India, que en 1859 median un desarrollo de 1.200 kilómetros.

El siguiente resúmen patentiza la obra de la civilización en este sentido, realizada desde el año de 1829 hasta fines del 1878, en cuya fecha se hallaban construidos: en Europa, 158.810 kilómetros de camino de hierro; en Asia, 15.040; en América, 148.366, de los cuales corresponden á los Estados Unidos 127.470; en Africa 3.326, y en Australia, 5.594; sumando una longitud total de 331.136 kilómetros que representan la de los ferro-carriles del globo en fin del consiguado año 1878.

Los dos estados que se acompañan permiten apreciar con relación á Europa, la distribución por naciones de los kilómetros de ferro-carril que corresponde á esta parte del mundo, y el grado de desarrollo comparado con la extensión superficial y el número de habitantes de cada nación.

Kilómetros de ferro-carril, superficie y poblacion de las naciones de Europa en fin de 1878.

NACIONES.	Superficie total. — Kilómetros cuadrados.	HABITANTES	Kilómetros de ferro-carril.
1 Bélgica.....	29.455	5.476.668	3.740
2 Países Bajos.....	32.973	3.981.887	1.967
Luxemburgo.....	2.587	205.158	273
3 Gran Bretaña.....	314.951	34.517.000	27.898
Malta, Gibraltar.			
Héligoland.....	375	174.362	»
4 Italia.....	296.323	28.209.620	8.043
San Marino.....	62	7.811	»
Mónaco.....	15	7.040	»
5 Alemania.....	539.812	42.727.360	31.636
6 Francia.....	528.572	36.905.788	23.793
7 Suiza.....	41.390	2.792.264	2.590
8 Austria-Hungria..	634.254	37.331.420	18.270
9 Dinamarca.....	38.302	1.940.000	1.366
Islas Feroé é Islandia.....	103.750	83.000	»
10 Liechtenstein.....	178	8.664	»
11 Portugal.....	89.625	4.348.551	1.152
Azores y Madera...	3.203	396.572	»
12 Rumanía.....	127.584	5.376.000	1.388
13 España.....	500.443	16.342.996	6.199
Canarias.....	7.273	280.388	»
Andorra.....	495	18.000	»
14 Grecia.....	50.123	1.679.775	12
15 Sérvia.....	48.657	1.576.622	»
16 Montenegro.....	9.433	286.000	»
17 Turquía Europea..	274.303	7.008.000	1.243
Bulgaria.....	63.865	1.859.000	224
18 Rusia Europea....	5.008.168	72.018.331	21.840
Finlandia.....	373.530	1.968.626	873
19 Suecia.....	442.818	4.531.863	5.241
20 Noruega.....	318.195	1.806.900	1.059
TOTALES.....	9.870.721	313.865.681	158.810

NACIONES.	Kilómetros de ferro-carril por cada 10.000	
	Habitantes.	Kilómetros cuadrados.
Bélgica.....	6,82	1.270
Países Bajos.....	4,93	596
Luxemburgo.....	13,30	1.055
Gran Bretaña.....	8,08	886
Italia.....	2,85	272
Alemania.....	7,40	586
Francia.....	6,44	450
Suiza.....	9,27	626
Austria-Hungría.....	4,89	293
Dinamarca.....	7,04	357
Portugal.....	2,64	129
Rumanía.....	2,58	109
España.....	3,79	124
Grecia.....	0,07	2,4
Turquía Europea.....	1,77	45
Bulgaria.....	1,20	35
Rusia Europea.....	3,03	44
Finlandia.....	4,43	23
Suecia.....	11,56	118
Noruega.....	5,86	33

Del exámen de estos datos estadísticos se deduce la prodigiosa actividad desarrollada en la construcción de estos caminos, durante un período de tiempo relativamente pequeño; y este portentoso resultado patentiza mejor que todos los razonamientos que pudieran presentarse, las inmensas ventajas que realiza el moderno medio de transporte.

CAPÍTULO II.

Problema científico que entraña la construcción de un ferrocarril.

ARTÍCULO I.º

Consideraciones generales. — Nociones fundamentales.

Problema que entraña la construcción de un ferrocarril. — Habiendo expuesto en los tres artículos del capítulo primero, lo que es en conjunto un ferrocarril, las grandes ventajas que proporciona este perfeccionado medio de transporte, y las principales circunstancias que caracterizan la historia de su establecimiento, nos encontramos en disposición de empezar el estudio detallado de tan provechoso mecanismo. Antes, sin embargo, conviene definir en su verdadero valor el problema científico-económico que entraña en general la industria del transporte, porque del planteamiento de este problema surgirán naturalmente la importancia relativa de los elementos que le constituyen, y el orden lógico en que debe realizarse su estudio.

Un ferro-carril, una carretera, en general un camino cualquiera, por imperfecto que sea, tiene por objeto servir la consignada necesidad de los trasportes, que es sin duda alguna el fundamento de la vida social. Para utilizar el hombre este camino, ya sea en el concepto de trasladarse por él de un punto á otro, ya en el sentido de trasportar los productos naturales, las primeras materias de la industria, ó los objetos manufacturados por ésta, es forzoso que desarrolle una cierta cantidad de trabajo, que se hace patente en el resultado obtenido con el viaje. Si éste se realiza á pié, el cansancio del viajero denota claramente que ha gastado una parte de la fuerza muscular que le proporciona su organismo, y sin la cual no se concibe que pudiera trasportar siquiera el peso de su cuerpo á lo largo del camino. Cuando éste se recorre en un vehículo cualquiera arrastrado por animales, en éstos se desarrolla la fuerza necesaria para realizar el trabajo que constituye el viaje. En el tren que se mueve sobre los carriles de hierro, precedido y arrastrado por la locomotora, se obtiene el esfuerzo necesario merced á la acertada aplicacion del vapor, dirigido y secun-
dado por el ingenioso mecanismo de este aparato. En consecuencia, ya sea la fuerza del hombre, ya la de los animales, ó bien la del

vapor, es indispensable emplear alguna para verificar el transporte. Tenemos, pues, además del camino, un primer elemento: la fuerza.

Esta se emplea en vencer las resistencias de todas clases que ocasiona el transporte de la carga. Y tal consideracion expresa el concepto fundamental de la Mecánica, colocando en acción aquella fuerza, que puede llamarse esfuerzo motor, y estas resistencias que, por análogo motivo, deben designarse como esfuerzo resistente.

En un punto cualquiera del camino en que consideremos el vehículo con su carga, se presentarán estos dos elementos de idéntica naturaleza, por cuanto ambos son esfuerzos; pero de acción distinta, tendiendo el uno, el motor, á vencer y venciendo al cabo, cuando pone en movimiento el vehículo, el obstáculo ó dificultad que constituye la esencia del transporte. Ahora bien, sin posterior exámen se comprende que esta verdadera lucha entre el esfuerzo resistente ó carga y el esfuerzo motor, puede presentar diversos aspectos y realizarse en condiciones muy distintas segun las circunstancias que concurren. La propia experiencia manifiesta que no se realiza el recorrido de un camino en las mismas condiciones cuando se marcha por él con gran celeridad que cuando se recorra muy despacio; y análoga observacion puede he-

cese con relacion á los caractéres del camino; porque es evidente que ocasiona su recorrido mayor fatiga cuando se presenta en cuesta que cuando todos sus puntos se hallan de nivel. El transporte en todos los casos es sin embargo el mismo, y se define por el hecho de trasladar una carga (ya sea simplemente el peso del hombre, ya sea la mercancía arrastrada por el motor de naturaleza cualquiera) desde el punto donde empieza el camino hasta el punto en que termina. En aquel y en todos los intermedios ha actuado el esfuerzo motor de una manera continua venciendo el resistente, y dando origen al trabajo del transporte, que se deduce ha de ser tanto mayor, cuanto mayores sean el esfuerzo que haya de emplearse para arrastrar la carga, la celeridad con que ésta se traslade, y la longitud del camino. Y hé aquí que en virtud de estas ligeras consideraciones, se patentiza la existencia de una íntima relacion entre los diversos elementos: esfuerzo resistente ó carga de transporte, esfuerzo motor, mayor ó menor celeridad en la marcha, condiciones del camino y trabajo realizado.

Como la obtencion del esfuerzo motor se traduce en un gasto de capital, verificándose lo mismo respecto á la instalacion del camino en las condiciones más ventajosas; y como, por

otra parte, cuanto mayor sea la carga trasportada, mayor será el beneficio que se obtenga de esta industria, resulta evidentemente que el estudio científico de esta relacion se enlaza íntimamente con el económico, que lleva consigo la construccion de un camino cualquiera, y muy particularmente un ferro-carril por efecto de la regularidad del organismo que le constituye. Otros elementos, ademas de la carga trasportada, influyen tambien, y por lo tanto deben ser atendidos cuando se pretenda construir un ferro-carril. Recordando lo dicho acerca de las grandes ventajas morales que se consiguen por efecto de la celeridad en la marcha, fácil será comprender que este dato debe tomarse en cuenta al establecer un camino de hierro, por cuanto se halla estrechamente relacionado con las condiciones de la vía.

Armonizar todos estos elementos de la manera más conveniente para conseguir que el transporte realice cumplidamente el objeto á que se destina, es el problema que entraña en general la construccion de un camino.

Definiciones de los elementos que entraña el problema del transporte.—No es posible en manera alguna, dadas las dimensiones de este trabajo y el fin á que tiende, exponer científicamente la relacion á que se ha hecho referencia;

pero sí es indispensable, para formar idea siquiera sea aproximada, del problema que se trata de resolver, definir los elementos técnicos que intervienen en dicha relacion, á fin de evitar interpretaciones equivocadas, y de apreciar, en cierto grado por lo ménos, los resultados que se deducen de la misma, como conocimiento indispensable para comprender la estructura y razon de ser del medio de transporte que se estudia.

Fuerza.—Se tiene idea de las fuerzas por los efectos que producen. No es dado ver la fuerza que determina la caida de un cuerpo sobre la superficie de la tierra cuando de ella se le ha separado y se le deja caer; la que el hombre ejerce al levantar del suelo dicho cuerpo; la que se desarrolla en su organismo cuando se pone en movimiento; la que origina un animal al arrastrar un vehículo; ni la que engendra el vapor, dirigido en el mecanismo de la locomotora; pero todo el mundo se da cuenta de los hechos que realizan estos agentes misteriosos que se conocen con el nombre de fuerzas, y cuya esencia es completamente desconocida. Concretando el hombre la esfera de su investigacion á los justos límites que determina el propósito de obtener resultados prácticos, ha procurado colocar la fuerza en el terreno de las cantidades; y con este objeto, ya que no le era dado me

dirla en sí misma por cuanto es impalpable, ha medido sus efectos empezando por estudiar los correspondientes á una que habia de servirle de término de comparacion para todas sus apreciaciones, y establecer la igualdad entre dos de estos efectos, que es la base indispensable para formar idea de uno que sea doble, triple ó un número determinado de veces mayor que cualquiera de aquellos dos iguales, que puede tomarse como unidad de medida.

La accion de la gravedad, que se revela por el fenómeno de la caida de los cuerpos, es decir, por el movimiento de éstos en sentido vertical, y que se explica admitiendo hipotéticamente la existencia de una fuerza que obrase sobre todos, tendiendo á llevarlos al centro de la tierra, determina lo que se llama el peso de los cuerpos, que no es otra cosa que el efecto producido por dicha fuerza, y que se mide por los análogos efectos producidos tambien por la misma fuerza al suponerla obrando sobre cuerpos admitidos como unidades para valúar estas medidas.

Dedúcese de aquí que cualquiera que sea la direccion de un esfuerzo, siempre será dado apreciarle por medio de dichas unidades, por cuanto el efecto que producirá ó tenderá á producir en un instante determinado, ha de ser un movimiento análogo al que origina la accion

de la gravedad. Si se toma, por lo tanto, el kilogramo como unidad, al decir que se dispone de una fuerza de 500 kilogramos se da á entender que en la direccion en que actúa, ejerce sobre el cuerpo á que se aplica el mismo efecto que ejerceria la accion de la gravedad, obrando sobre un peso de 500 kilogramos, una vez que este efecto se mediria por 500 veces la unidad de peso, ó sea el kilogramo.

Velocidad.—El movimiento de un cuerpo se concibe que puede ser muy variado. Un camino de longitud determinada será recorrido en mayor ó menor tiempo, segun sea la celeridad en la traslacion; y muy bien se comprende que ésta pueda ser grande en una parte del trayecto, y alcanzar diversos grados de magnitud en los restantes. Este concepto de variacion indeterminada no permitiria en manera alguna formar idea del movimiento con relacion á la causa que le produce, ó sea á la fuerza, ni áun siquiera en absoluto, prescindiendo de esta causa. El movimiento más regular que puede imaginarse, prescindiendo de la manera de producirle, es, sin duda alguna, aquel en el cual el cuerpo que se mueve recorre sobre el camino longitudes de éste iguales, empleando en los recorridos, tiempos iguales. Es decir, que si en recorrer los primeros veinte metros del camino

emplea un segundo de tiempo, apreciado en un reloj, emplee idéntico tiempo en recorrer los veinte metros que siguen á los primeros, y siempre emplee un segundo en avanzar la misma longitud. En tal movimiento, verdadero tipo de la regularidad, y que por esto se llama en Mecánica movimiento uniforme, se encuentra definido con toda exactitud lo que se conoce con el nombre de velocidad, y que no es otra cosa que el camino recorrido por el móvil en la unidad de tiempo. En el ejemplo que se ha puesto, la velocidad sería igual á veinte metros, por cuanto esta longitud es la recorrida por el móvil en un segundo, que es la unidad que se toma ordinariamente para la medida del tiempo. Tanto esta unidad como la escogida para apreciar la longitud del camino pueden variar-se. Así se dice de la marcha de un tren, que lleva una velocidad de cuarenta kilómetros por hora; pero siempre refiriéndose á estas unidades, debe aplicarse la definicion general cuando se trate de un movimiento uniforme; y en este caso, la exposicion consignada significa que en cada espacio de tiempo igual á una hora el tren avanza cuarenta kilómetros. Fácil sería, por lo tanto, deducir el tiempo que tardará un tren en recorrer un camino de longitud conocida, cuando supuesta la uniformidad del movi-

miento, sea conocida también la velocidad. Todo estaría reducido á dividir el número que represente la longitud del camino, expresada en la misma unidad lineal en que esté expresada la velocidad, por el número que represente ésta; y el cociente que se obtenga indicará el de unidades de tiempo, iguales cada una á la que se haya tomado para definir la velocidad. Un camino de 200 kilómetros de longitud, recorrido á cuarenta kilómetros por hora, ocasionará un viaje de cinco horas.

No es tan sencillo el concepto de la velocidad en los movimientos variados, ni aún en los que lo son con cierto grado de uniformidad, como el producido por la acción de la gravedad; pero no extenderemos más estas consideraciones, por cuanto en lo que atañe á la marcha de los trenes, no hemos de hacer uso de movimientos distintos del uniforme, bien sean realmente así en trayectos parciales, ó ya se les suponga de este modo, admitiendo para el recorrido total una velocidad média.

Trabajo mecánico.—Expuestos los fundamentos esenciales de la fuerza y la velocidad, réstanos definir lo que es el trabajo de aquella, elemento importantísimo para la comprensión del efecto que produce todo motor, no sólo porque sirve para establecer, bajo el punto de

vista mecánico, la relacion que enlaza todos los que intervienen en el movimiento, sino tambien porque entraña la parte econõmica del problema que se trata de plantear.

Se designa en Mecánica por trabajo de una fuerza el producto de su intensidad expresado en kilógramos, segun hemos dicho, por la longitud del camino recorrido por el punto á que se aplica dicha fuerza. Sea cualquiera la direccion en que ésta actúe, siempre su trabajo estará expresado por dicho producto. Supongamos, por ejemplo, que se trate de la desarrollada sobre un camino por el motor que arrastra un vehículo cualquiera; que la longitud del camino recorrido por el punto á que se aplica la fuerza fuese igual á 500 metros, y que la fuerza tuviera una intensidad de veinte kilógramos; el trabajo sería evidentemente el producto de estos dos números, ó sea 10.000. ¿Pero qué representaria este número? ¿De qué especie son sus unidades? Sus unidades lo serian de la especie trabajo desarrollado, y para apreciar debidamente éste bastará definir lo que vale esta unidad.

Habiendo empleado para la expresion de la intensidad de la fuerza los efectos producidos sobre los cuerpos por la gravedad, natural es referir á la misma la unidad de trabajo; y en

este concepto dicha unidad se define por el trabajo desarrollado al elevar á un metro de altura un peso igual á un kilógramo: unidad que constituye un buen término de comparacion por cuanto se refiere á las dos unidades aceptadas para medir la fuerza y el camino recorrido. Por cada metro de camino recorrido estará comprendida la unidad en el trabajo tantas veces como kilógramos midan la fuerza, y por cada kilógramo de fuerza, tantas veces como metros mida el camino. Esta unidad especial recibe el nombre de *kilográmetro*, y repetida setenta y cinco veces da lugar á la llamada *caballo de vapor*.

Conocido el trabajo de una fuerza en *kilográmetros*, es fácil expresarle en caballos de vapor; para esto bastará evidentemente averiguar cuántas veces está contenido el número 75 en el de kilográmetros que mide el trabajo; ó lo que es lo mismo, dividir éste por 75, y el cociente representará el número de caballos de vapor. Una máquina que haga un trabajo de 600 kilográmetros equivaldrá á 8 caballos, porque ocho veces están contenidos 75 kilográmetros en los 600 que mide el trabajo de la máquina. No será más difícil tampoco, conocido el número de caballos de vapor de una máquina y el camino recorrido por el punto de aplicacion

de la fuerza que le produce, deducir el valor de esta fuerza en kilogramos. Un trabajo, por ejemplo, representado por 5 caballos equivale á 375 kilográmetros (producto de 5 por 75), y si en el tiempo en que se desarrolla dicho trabajo el camino recorrido por la fuerza es igual á 100 ms., el valor de la fuerza será de 3 kilógramos 75 céntimos de kilogramos, porque 3 con 75 céntimos es el cociente de 375 por 100. De idéntica manera se determinaría el camino recorrido por el punto de aplicación de una fuerza conocida que ejecute en un tiempo dado un trabajo conocido también. Sea de 6 caballos el trabajo, multiplicando por 75 tendremos para expresión del trabajo en kilográmetros 450 de estas unidades, y si la fuerza es igual á 10 kilogramos, el camino recorrido durante el tiempo del trabajo será 45 metros, por que 45 es el cociente de dividir 450 por 10.

Hé aquí, por lo tanto, de qué manera tan sencilla se aprecian el trabajo, que es el efecto final realizado por un motor cualquiera, y la fuerza que es la causa que le produce. La sencillez de la relación que enlaza estos dos elementos con el camino recorrido nos permite reducir el trabajo del motor inanimado á unidades, que en la expresión al ménos, marcan el trabajo realizado por los motores animados.

Conviene, ántes de pasar más adelante, confirmar en parte un aserto que se deja consignado en el art. 2.º del capítulo anterior, y se refiere á la regularidad del aparato que produce el movimiento del tren, y al conocimiento, que merced á esta regularidad, tiene del motor la persona encargada de dirigirle. Las unidades de trabajo, ó sean los caballos de vapor que desarrolla la locomotora, tienen un valor constante y con su efecto puede contarse siempre que el mecanismo funcione debidamente, lo cual, como veremos más adelante, se consigue por los diversos aparatos que le constituyen. Nada existe, por lo tanto, en la marcha de un tren, que sea fortuito en lo que atañe al esfuerzo que ha de producir dicha marcha; los caballos de vapor no se cansan, su fuerza es siempre la misma, se mide por la misma cantidad, y en un momento determinado se conoce perfectamente.

Lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad y viceversa.—Insistamos todavía algo más en la definicion de trabajo mecánico, á fin de depurarla, y deducir una consecuencia importantísima, cuyo concepto es tan elemental que por todos se conoce, y hasta se formula en una frase aceptada como axiomática. «Lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad, y vicever-

sa. «Por las consideraciones expuestas tenemos idea, siquiera sea muy ligera, de lo que son la fuerza y la velocidad; veamos cómo la definición del trabajo enlaza estas dos cantidades, en el movimiento uniforme, y cómo lógicamente se deduce de este enlace la exactitud de la frase consignada.

Es evidente que en un tiempo dado, un segundo, por ejemplo, un motor determinado desarrollará una cierta cantidad de trabajo, que podrá presentar apariencias muy distintas, pero que siempre tendrá el mismo valor, definido por las condiciones del aparato. Partiendo de la constancia del trabajo realizado en la unidad de tiempo, el segundo, nos será dado apreciar en su verdadero valor las diversas apariencias de que se ha hecho mérito. Supongamos que la máquina es capaz de desarrollar un trabajo representado por diez caballos de vapor, y que el camino recorrido en un segundo por el punto de aplicación de la fuerza que da lugar á este trabajo esté representado por 20 metros.

De lo dicho anteriormente podemos deducir el valor de dicha fuerza: para esto, multiplicaremos 10, número de caballos de vapor por 75, número de kilográmetros que tiene cada caballo: 750 nos representará este trabajo en kilográmetros; y dividiendo este número por 20

(que es el camino recorrido por el punto de aplicación de la fuerza en el tiempo que se considera), tendremos 37,5 kilogramos para valor de la fuerza. Supongamos ahora que siendo el mismo el trabajo, el camino recorrido por la fuerza en un segundo no es 20 metros sino 5 metros; para hallar la nueva fuerza dividiremos los mismos 750 kilográmetros que siguen representando el trabajo, puesto que no varía, por 5 metros, y se obtendrá para valor de esta nueva fuerza 150 kilogramos; es decir, un número cuatro veces mayor que 37,50. De modo que si el camino recorrido en un segundo, como sucede en el ejemplo anterior, en vez de ser 20 metros es la cuarta parte, ó sean 5 metros, la fuerza que corresponderá al trabajo de los diez caballos de vapor, desarrollado en un segundo, será 150 kilogramos, ó lo que es lo mismo, cuatro veces mayor que 37,50 kilogramos, que era la que correspondía al camino de 20 metros. Ahora bien, hemos dicho que velocidad en el movimiento uniforme es el camino recorrido en la unidad de tiempo, luego si esta unidad es el segundo, los 20 metros del camino recorrido (primera parte del ejemplo anterior) representará la velocidad del movimiento producido por el trabajo; y los 5 metros (segunda parte del ejemplo), representará á su vez la ve-

locidad en el segundo movimiento, producido tambien por el mismo trabajo. Podemos deducir en consecuencia, que á medida que disminuye la velocidad aumenta la fuerza, y estas disminuciones y aumentos están en la misma relacion, por cuanto su producto es la cantidad constante de trabajo que es dado obtener de la máquina en la unidad de tiempo. Cuando el camino recorrido en un segundo tenga el valor 1, por ejemplo, la fuerza tendrá un cierto valor, que multiplicado por 1 dará el trabajo; cuando el camino en vez de ser igual á 1 sea igual á $\frac{1}{2}$, la fuerza tendrá un valor doble del que tuviera en el caso anterior, porque sólo de este modo el trabajo se conservará constante: si el camino se reduce al $\frac{1}{3}$, la fuerza adquirirá un valor triple del primitivo, y así es dado apreciar los infinitos valores que pueden tener el camino y la fuerza; bien entendido que estos valores son con relacion á los primitivos tantas veces mayor el uno, cuantas veces sea menor el otro, y que corresponden tan sólo al trabajo desarrollado en la unidad de tiempo, sea ésta la que fuere. Claro es que basta referir el trabajo á la unidad de tiempo, porque conociendo tanto este trabajo como los dos elementos velocidad y fuerza que le constituyen, en dicha unidad de tiempo, se apreciará fácilmente el efecto total producido

en un tiempo cualquiera, repitiendo el efecto parcial obtenido en la unidad de tiempo tantas veces como veces esté contenida esta unidad en el tiempo que se considere, puesto que se trata de un movimiento que es idéntico en cada unidad de tiempo.

Condiciones del camino.—Examinemos, por último, las condiciones del camino. En éste pueden encontrarse líneas rectas ó curvas, trozos en que todos los puntos estén de nivel, que se llaman por esta razón tramos horizontales, y trozos que se presentan, como vulgarmente se dice, en cuestas ó pendientes. Ni las líneas rectas, ni las líneas curvas, ni los tramos horizontales, exigen explicación alguna, porque toda persona tiene exacta idea de estos elementos. No sucede lo mismo respecto á las pendientes, que, si bien se sabe lo que son, es forzoso definir las técnicamente, siquiera no sea con otro objeto que el de abreviar las expresiones.

Tramos horizontales.—*Pendientes.*—En un tramo horizontal todos los puntos están á la misma altura, es decir, que si suponemos la existencia de un gran plano perpendicular á la dirección, vertical definida por la plomada, todos los diversos puntos del tramo llamado horizontal distarán cantidades iguales de dicho

plano: ó lo que es lo mismo, que si sobre éste se bajan perpendiculares desde cada uno de los puntos de aquél, todas estas perpendiculares serán iguales.

Si suponemos unidos por una línea recta dos puntos de terreno, cuyas perpendiculares sobre el plano hipotético que se ha definido, sean desiguales, dicha recta debe decirse que está inclinada con relacion al plano, y determina lo que se llama pendiente. Si se miden las dos perpendiculares bajadas desde dichos dos puntos sobre el plano hipotético, que llamaremos de comparacion, la diferencia entre las medidas de aquellas perpendiculares, marcará lo que está más alto el un punto que el otro, y esta diferencia se conoce con el nombre de diferencia de nivel ó desnivel. La inclinacion de esta línea se mide matemáticamente por el número que resulta de dividir la diferencia de nivel por la distancia horizontal que separa los dos puntos. Supongamos que entre estos existe una distancia horizontal de 100 metros y un desnivel de 5, la inclinacion de la línea recta que une dichos puntos, cuya posicion relativa definen estos números, estará representada por 0,05.

Expresion matemática de las pendientes.— Veamos lo que realmente representa este número. Si suponemos trazada la línea recta, cuya

inclinacion se estudia, marchando por ella; cuando hayamos pasado de uno á otro de sus extremos nos encontraremos 5 metros más altos que en el punto de partida: ahora bien, á esta altura no hemos llegado, sino despues de haber estado en los diversos puntos del camino á todas las alturas comprendidas entre cero, que es la que corresponde al de partida, y cinco metros que es el más alto. En realidad, por cada metro que hemos andado en el camino hemos subido una parte de la altura total; y esta parte es la representada por el número obtenido como cociente en la division anterior. En efecto: si en los 100 metros hemos subido 5, siendo uniforme la subida, en un metro de camino habremos subido la centésima parte de 5, que es lo que expresa el número 0,05, que referido á la unidad metro será 5 centímetros.

De modo que puede definirse la inclinacion diciendo que es la altura que se sube ó se baja (segun la direccion del movimiento) cuando se recorre una unidad de longitud del camino medida horizontalmente y expresada en partes alícuotas de esta unidad: así, cuando por cada metro de camino se sube ó baja un milímetro, diremos que la inclinacion es de una milésima de la unidad metro; que es de una centésima cuando se suba ó se baje por cada metro un

centímetro; é igualmente en todos los ejemplos que pudieran ponerse.

Sin esfuerzo se comprende que lo que se sube ó se baja en un metro de camino inclinado no es otra cosa que el desnivel que existe entre dos puntos de la línea inclinada que se hallen á una distancia horizontal igual á un metro. Conocido este desnivel, será fácil hallar el que corresponde á dos puntos que estén horizontalmente á una distancia igual á 100 metros, por cuanto este desnivel será cien veces mayor; así cuando la inclinacion es de 5 centésimas por metro, en 100 metros de camino, será el desnivel de 500 centímetros, ó sea 5 metros; y esto permite expresar la inclinacion, diciendo que es de 5 centímetros por metro, ó de 5 metros por 100, lo cual se abrevia tambien diciendo de 5 por 100. La inclinacion de una milésima puede expresarse diciendo que es de un milímetro por metro; de un centímetro por 10 metros; de un decímetro por 100 metros; de un metro por 1.000 metros, ó en general, de una unidad por 1.000 unidades; y abreviadamente de 1 por 1.000, aumentando el desnivel primitivo, ó el número abstracto una milésima, que representa en absoluto la inclinacion en la misma, proporcion en que se aumenta la distancia horizontal.

Con relacion á un camino, se dice que una

inclinación está en rampa cuando se recorre del punto más bajo al más alto, ó lo que es lo mismo, cuando se sube; y que está en pendiente cuando se recorre en sentido contrario, es decir, que se baja.

Definidos los principales elementos que entran como partes integrantes en la relacion científica, que es la base fundamental del problema que entraña la construccion de un camino de hierro, pasaremos á estudiar la influencia que ejercen unos sobre otros, como único medio de formar idea aproximada de los resultados que en el terreno de la práctica se deducen de dicha relacion.

ARTÍCULO II.

Influencia de los diversos elementos del camino en el transporte.—Pendientes.

Para que pueda realizarse el transporte, es de todo punto indispensable la existencia del camino. Por esto es natural, procediendo en el orden debido, estudiar en primer término la influencia que ejercen los diversos accidentes de aquel en los demas elementos del transporte, y que como sabemos son: esfuerzo resistente ó carga, esfuerzo motor, velocidad y trabajo.

Con objeto de simplificar, prescindiremos de

la manera de producir el esfuerzo motor, y supondremos tan sólo que actúa como es necesario para vencer todas las resistencias que se presentan en la marcha. Despues que hayamos estudiado el aparato que produce dicho esfuerzo en los caminos de hierro, ó sea la locomotora, podremos modificar las conclusiones de carácter general que se deduzcan en este primer estudio.

Rozamiento.—La carga que ha de trasladarse de un punto á otro del camino, no es otra cosa que un peso, que como todos, obra en direccion vertical. Este peso se halla colocado sobre el camino, que por el pronto supondremos horizontal; y está ejerciendo sobre él el esfuerzo correspondiente, que origina una especie de enlace entre los puntos materiales del vehículo pesado ó carga, y los puntos materiales que constituyen la superficie del camino.

¿De qué naturaleza es este enlace? No es otra cosa en realidad, que un verdadero engrane entre las asperezas de las superficies del vehículo y del camino que están puestas en contacto; engrane realizado por el peso del objeto, y que consiste en la interposicion de las partes salientes ó asperezas de una de las superficies en las entrantes de la otra, y que se establece con mayor ó menor intensidad segun sea la na-

turalidad de los cuerpos en contacto. Para separar por medio de una fuerza horizontal los dos cuerpos que en cierta escala se han adherido tambien por la aproximacion de sus moléculas, es forzoso destruir, ademas de esta adherencia, el enlace material que se ha indicado; y esto no se consigue sino rompiendo ó salvando las partes salientes de los dos cuerpos entre las que se ha establecido. El estado de pulimento más ó ménos perfecto en que quedan las superficies de dos cuerpos que se frotan, pone de manifiesto el resultado que se indica. De modo que la resistencia que opone el objeto ó carga á ser movido, puede representarse por el esfuerzo horizontal que ocasiona la rotura de los obstáculos que se establecen por el contacto y la presion. Esta resistencia es lo que en Mecánica se conoce con el nombre de rozamiento, y su valor se determina multiplicando la presion que ejerce sobre el camino el peso en él colocado por un número menor que la unidad, que varía con la naturaleza de los cuerpos puestos en contacto y el grado de pulimento de sus superficies, y que se conoce por experiencias preliminares.

Estas han sido practicadas por distinguidos físicos, entre los cuales deben citarse á Coulomb y Morin, quienes las han realizado con gran

número de cuerpos de la misma y de distintas naturalezas, estudiando también los efectos debidos á los diversos grados de pulimento de las superficies. Merced á estos trabajos, se conocen los números por los que hay que multiplicar el peso, por ejemplo de uno de los cuerpos, suponiendo que sólo este peso determine la presión por el contacto, para deducir el esfuerzo resistente que origina dicho peso, en sentido horizontal. Supongamos que se tratase arrastrar sobre un trozo de piedra de caliza llamada oolítica, otro de la misma caliza que pese 30 kilogramos por ejemplo: como el número obtenido en dichas experiencias para este caso es igual á 0,74, el rozamiento ó esfuerzo horizontal estará representado por los 74 céntimos de la presión, que en este caso se reduce al peso del bloque que ha de moverse, y será por lo tanto 30 multiplicado por 0,74, ó lo que es lo mismo, 22,2 kilogramos. Si en vez de ser de dicho material los cuerpos en contacto, fueran de hierro, teniendo el mismo peso el que se trata de mover el rozamiento sería igual al producto del peso 30 kilogramos por 0,44, que es el número correspondiente á este último material, ó lo que es lo mismo, 13,20 kilogramos. Por estos dos ejemplos puede formarse idea de la manera de calcular tales esfuerzos, y de lo variables que son

sus valores con la naturaleza de los cuerpos, como lo son también con el grado de pulimento ó engrasado de las superficies en contacto.

Datos prácticos acerca de los rozamientos en el transporte por carreteras y por ferro-carriles.
— Consideremos ahora, para concretar lo dicho á nuestro estudio, el caso de un carruaje que soporte la carga objeto del transporte realizado sobre un camino en línea recta y horizontal. El peso de la carga y el del vehículo, sin incluir el correspondiente á las ruedas, insistirá sobre los ejes de giro de éstas, y en el contacto con sus muñones producirá un rozamiento que podrá calcularse del modo que hemos indicado anteriormente, teniendo en cuenta la naturaleza de las superficies en contacto y su engrasado. El peso total insistirá sobre el suelo en los puntos de contacto de las ruedas con el camino afirmado si se trata de una carretera, ó con los carriles si se trata de un camino de hierro. Como resultados experimentales podemos decir, que sobre las carreteras cuyo afirmado se conserve con el mayor esmero, el rozamiento por unidad de peso que se desarrolla en el contacto de los ejes con el cubo de las ruedas, es próximamente siete veces menor que el que se desarrolla por la misma unidad de peso en el contacto de la rueda con el firme del camino. En un ferro-

carril, por el contrario, el rozamiento que se produce en el contacto de las ruedas con el carril es la mitad del que tiene lugar en la caja de grasa donde gira el eje fijo á las ruedas (1). Por otra parte, la suma de todas las resistencias que es preciso vencer en el movimiento del vehículo ordinario sobre la carretera es próximamente 0,03, ó sean tres centésimas del peso del vehículo; y en un ferro-carril desciende hasta quedar reducido á 0,003, ó sean tres milésimas.

Esfuerzo para verificar el transporte en tramo horizontal.—De modo, que si se quiere transportar por una carretera un vehículo que pese con su carga 3.000 kilogramos, el esfuerzo horizontal que hay que desarrollar para vencer todas las resistencias que constituyen

(1) Conviene fijarse en estos datos experimentales, á fin de distinguir las dos clases de rozamientos que pueden desarrollarse por el contacto. Si el un cuerpo desliza sobre el otro, como sucede en el eje de la rueda y su cojinete, el rozamiento que se desarrolla recibe el nombre de rozamiento de deslizamiento; si, por el contrario, el cuerpo, como sucede con las ruedas de un vehículo cualquiera, avanza girando, el rozamiento se dice de rodadura, y es mucho menor que el primero cuando se trata de cuerpos de idéntica naturaleza.

por su reunion la fuerza que se opone á la marcha, será igual á 90 kilóg. ($0,03 \times 3.000$); y para trasportar el mismo vehículo sobre carriles de hierro bastará desarrollar un esfuerzo de nueve kilogramos ($0,003 \times 3.000$), que es la décima parte del anterior.

Fácil es, despues de lo expuesto acerca del rozamiento, comprender la exactitud de estos resultados, y en consecuencia las grandes ventajas que procura el empleo de los carriles de hierro. La ventaja tendria un valor intermedio si en vez de carriles de esta naturaleza se empleáran las filas de losas de superficie muy regularizada ó las bandas de largueros de madera, por cuanto los coeficientes de rozamiento (que así se llaman los números como 0,74 y 0,44 citados ántes y deducidos experimentalmente, por los que hay que multiplicar la presión ejercida en el contacto de dos cuerpos para obtener el valor del rozamiento ó esfuerzo en sentido horizontal) estarian comprendidos entre los correspondientes á los dos casos que se han indicado: trasporte sobre una carretera afirmada y trasporte sobre carriles de hierro.

Esfuerzo para verificar el trasporte en una pendiente.—Todo lo dicho se refiere al caso en que el vehículo haya de moverse por un camino en línea recta y de nivel, que es sin duda algu-

na el en que concurren las circunstancias más favorables. Supongamos ahora que continuando el camino en línea recta, presente una inclinación subiendo, ó lo que hemos llamado una rampa. A las resistencias que se han indicado respecto al camino de nivel, hay que agregar otra que puede adquirir un valor considerable si la inclinación llega á ser un tanto pronunciada. A fin de comprender bien las resistencias que en este caso hay que vencer para realizar el transporte, estudiémosle comparativamente con el anterior.

Cuando el camino era de nivel, el peso del vehículo y su carga obraban perpendicularmente á la superficie de aquél, empleándose en producir los rozamientos en el eje de las ruedas y en los puntos de contacto de éstas con el camino. Dichos rozamientos daban origen á resistencias que actuaban en sentido horizontal, y que eran las únicas que habia de vencer constantemente el esfuerzo motor para realizar el movimiento. Todo el peso (vehículo y carga) se emplea en realidad en establecer el engrane de las partes salientes de una y otra superficie; y por esto se explica perfectamente, que cuando se coloca un carruaje cargado en un camino de nivel, permanezca en equilibrio sin tomar movimiento alguno mientras no se aplique un esfuerzo que destruya dicho engrane.

Descomposicion del peso del vehiculo colocado en una pendiente.—No se verifica lo mismo en todos los casos cuando se considera un camino con cierta inclinacion. Todo el mundo habrá observado que colocado en una pendiente pronunciada un vehículo cargado, éste puede descender por ella sin necesidad de que se le aplique fuerza alguna en la direccion del movimiento. Hay motivo para preguntar á la inspeccion de este fenómeno; ¿á qué es debido el movimiento? ¿cómo se destruyen las resistencias? ¿de dónde nace el esfuerzo necesario para producir este efecto? existe en este caso, lo mismo que en el anterior, el engrane de las superficies en contacto; ¿pues si existe, cómo queda destruido una vez que el vehículo se mueve sólo en la direccion de la pendiente, y para ponerle ántes en movimiento era indispensable destruir dicho engrane? Todas estas preguntas están perfectamente justificadas, por más que la contradiccion que envuelven es tan solo aparente y quedará desvanecida desde el momento que se sepa de dónde procede el esfuerzo que determina el movimiento descendente del vehículo. Ahora bien, este esfuerzo que en realidad tiene caracteres de motor, nace del mismo esfuerzo resistente, ó sea del peso que hay que trasportar; y nace precisamente por efecto de

la disposicion inclinada que presenta el camino.

Desentrañemos el fenómeno experimental de este descenso, y sin otro orden de consideraciones podremos formar idea bastante aproximada de la causa que le produce. El vehículo es pesado y está en contacto con la superficie del camino: no existe más fuerza que el peso del carruaje que se quiere trasportar, y el hecho es que éste se pone en movimiento: luégo debe deducirse que este peso se divide en dos partes, una que se emplea en oprimir el vehículo contra la superficie del camino, dando origen al rozamiento, y otra que se manifiesta en el sentido descendente del camino, por cuanto aquel descende sin que se le aplique fuerza alguna; y aún se observa que para evitar este descenso bastaria ejercer una fuerza en sentido contrario.

Luego si el peso del vehículo se ha de descomponer en dos partes para producir los efectos que el fenómeno manifiesta, y dicho peso es constante, cada una de sus dos partes ha de ser menor que el peso total. Una de estas partes hemos dicho que se emplea en producir el rozamiento, que lo mismo que en el caso del camino horizontal, será una fuerza ó resistencia que se oponga al movimiento, obrando en la direccion del camino, aunque en sentido contrario de la marcha; y como la parte del

peso total que produce este rozamiento es menor que dicho peso, fácil será deducir que la resistencia debida al rozamiento, cuando el camino es inclinado, es menor que cuando es horizontal, porque en uno y en otro caso ha de calcularse multiplicando el número experimental que corresponda á las naturalezas de los cuerpos en contacto, por el peso que en cada caso determiné este contacto; y como en el camino inclinado este peso no es más que una parte del peso total, el producto de la misma por el número citado, ó sea la resistencia debida al rozamiento, será evidentemente menor que el producto de dicho número por el peso total que representa de igual modo la resistencia debida al rozamiento en el camino de nivel.

La otra parte de las dos en que evidentemente se descompuso el peso del vehículo, se patentiza, hemos dicho, por el hecho del descenso, y constituye, en realidad, el esfuerzo motor obrando en la misma direccion del camino y en sentido de la marcha. En resumen, tenemos obrando sobre el vehículo dos fuerzas en la direccion del camino; una, el rozamiento que se opone á la marcha: otra, la parte del peso total que produce, ó tiende, por lo ménos, á producir la marcha.

Una nueva duda puede originar esta última

frase de que el esfuerzo que obra en sentido del movimiento produce, ó tiende á producir la marcha. En el caso que hemos considerado se ha supuesto que ésta se produce; pero es fácil comprender, consultando á la experiencia y reflexionando un poco sobre lo dicho, que pueden presentarse otros en que no se verifique la marcha, y sin embargo, exista la descomposicion del peso, y por lo tanto, un esfuerzo en sentido del descenso.

Para apreciar esto examinemos lo que se verifica cuando varía la inclinacion del camino; y para comprenderlo más fácilmente, refirámonos á una experiencia que cualquiera puede realizar. Colóquese una tabla sobre un piso perfectamente horizontal, y sobre ella, y en uno de sus extremos, un cuerpo cualquiera que pueda rodar: un cilindro de madera, por ejemplo. Cuando la tabla sea horizontal, el cilindro permanecerá en el punto en que le hemos colocado: si levantamos el extremo de la tabla, haciéndola girar alrededor del otro, se observará que el cilindro no empieza á rodar hasta que la tabla ha adquirido una cierta inclinacion, á partir de la cual el cilindro siempre rueda con velocidades mayores á medida que son mayores tambien las inclinaciones que demos á la tabla, y en las que se repita la ex-

perencia. En todos estos casos, desde la posición más próxima á la horizontal hasta la más apartada, se verifica la descomposición del peso del cuerpo; rodillo de madera, en la experiencia consignada, vehículo con su carga en el caso del transporte; pero esta descomposición del peso, que siempre es la misma en esencia, por cuanto se verifica en dos fuerzas (ya sabemos que fuerzas y pesos se equivalen), una perpendicularmente al camino que produce la resistencia rozamiento, y otra paralela al camino y en sentido descendente, varía, sin embargo, de una manera continua en las magnitudes de los dos componentes, siendo menor la primera y mayor la segunda á medida que aumenta la inclinación. ¿Qué es lo que forzosamente debe resultar de esta variación? Que si á medida que aumenta la inclinación, disminuye la primera de aquellas componentes, que es la que produce el rozamiento, éste disminuirá también cuando la inclinación aumente; y como tal rozamiento hemos dicho que es la fuerza en sentido del camino, que se opone á la marcha, tanto menos se opondrá cuanto mayor sea la inclinación. Ahora bien; el esfuerzo que ha de vencer este rozamiento es la segunda componente del peso del vehículo, y ésta hemos dicho que será mayor cuanto mayor sea la

inclinacion; por lo tanto, á medida que crezca ésta se dispondrá de mayor esfuerzo para determinar la marcha. Partiendo ahora de la posicion á nivel del camino, en la que la componente del rozamiento y la resistencia que éste produce tienen sus valores máximos, por cuanto dicha componente es el peso total, y la paralela al camino es igual á cero, se comprende que en virtud de la variacion indicada, cuando la inclinacion aumente, el esfuerzo resistente ó de rozamiento irá disminuyendo, y el esfuerzo (que pudiéramos llamar motor) que obra en sentido del descenso, va aumentando, y llegará un momento en que serán iguales, correspondiendo al mismo una inclinacion determinada. En todas las inclinaciones menores que esta el esfuerzo resistente será superior al motor, y el vehículo no se moverá aunque exista dicho esfuerzo en sentido de la marcha, y que tenderá á producirla, por más que no la produzca, una vez que no puede vencer la resistencia que origina el rozamiento. En todas las inclinaciones superiores á la en que se verifica la igualdad de esfuerzos, será el motor superior al resistente, y el movimiento se producirá con tanta más energía cuanto mayor sea la diferencia entre dichos esfuerzos, que es en último resultado lo que determina la marcha.

Esfuerzo en el caso de una rampa.—Examinemos ahora lo que se verifica cuando en vez de bajar por el camino se tratara de salvar la inclinacion subiendo. En cualquier punto de ésta que consideremos el vehículo, tendrá lugar la descomposicion de su peso en las dos partes una de ellas que produce el rozamiento oponiéndose siempre á la marcha, y la otra que produce ó tiende á producir el descenso del vehículo á lo largo del camino inclinado, originando una fuerza, que si podia considerarse como esfuerzo motor cuando se trataba de bajar, es un nuevo esfuerzo resistente cuando se trata de subir. La fuerza que en este caso haya de aplicarse al vehículo para salvar la rampa, ha de ser por lo ménos igual á la suma del esfuerzo debido al rozamiento y del nuevo esfuerzo resistente paralelo al camino, y que existe con este carácter en el caso que se examina, como existia en el caso de la bajada con él de motor, por efecto exclusivamente de la inclinacion del camino. Con lo dicho basta para comprender en general la influencia que tienen las rampas en el transporte.

Casos concretos de los transportes por carreteras y por ferro-carriles.—No podemos exponer todos los razonamientos que conducen á establecer la fórmula que sirve para

deducir el esfuerzo que es preciso añadir al que se ha fijado anteriormente para arrastrar una unidad de peso en un camino horizontal, cuando se trata de salvar una rampa, definida técnicamente como hemos indicado más arriba; pero si cumple á nuestro objeto poner de manifiesto la gran influencia de las rampas en el transporte por los caminos de hierro. En el camino horizontal sólo habia que vencer la resistencia debida al rozamiento, tanto en los ejes como en el contacto de las ruedas con los carriles, y hemos indicado que por trabajos experimentales se ha deducido que el esfuerzo necesario para vencer todas estas resistencias en una carretera bien conservada, puede calcularse aproximadamente en tres centésimas (0,03) por unidad de peso que haya de trasportarse, y en tres milésimas (0,003) por la misma unidad si se trata de mover el vehículo sobre carriles de hierro. Desde el momento que el camino presente inclinacion, las resistencias producidas por los rozamientos disminuirán, pues segun hemos dicho, la parte alícuota del peso que las determina, disminuye por efecto de la inclinacion; pero como esta disminucion es muy pequeña entre ciertos límites de las inclinaciones del camino, podemos suponer, para simplificar, que el valor de las resistencias ó esfuerzos que hay que ven-

cer por efecto del rozamiento, son iguales en un camino horizontal que en uno inclinado, cuya inclinacion no exceda de aquellos límites. Por consideraciones matemáticas y mecánicas, muy sencillas (pero cuya exposicion exigiria la de multitud de definiciones y teorías, que no consideramos oportuno desarrollar, porque nos apartaríamos de nuestro principal objeto), se deduce que la parte alícuota del peso del vehículo que en un camino inclinado se transforma en esfuerzo motor si se trata de la bajada, ó en esfuerzo resistente si se trata de la subida, es igual aproximadamente á una fraccion de dicho peso determinada por el valor de la pendiente: es decir, que si ésta es de cuatro milésimas, el valor del esfuerzo de que se trata será las cuatro milésimas del peso del vehículo; si fuere de cinco centésimas, sería el esfuerzo los cinco céntimos del peso; y lo mismo podria decirse de todas las pendientes que se consideráran.

Admitido esto, podemos determinar cuál será el esfuerzo necesario para trasportar un peso conocido en una rampa de inclinacion tambien conocida, ya sea en un camino ordinario, ya sea sobre carriles de hierro. Supongamos que el peso es de 5000 kilogramos, ó lo que es lo mismo, 5 toneladas (la tonelada métrica tiene mil kilogramos), y la pendiente de 0,006 (seis

milésimas). Dos fuerzas hay que vencer, primera, la debida al rozamiento: segunda, la debida á la pendiente. Si suponemos que se trata de una carretera, tendremos que la primera es igual á tres céntimos del peso total, ó lo que es lo mismo, á 150 kilogramos; y la segunda á seis milésimas de dicho peso, por cuanto seis milésimas es el valor de la pendiente: la milésima de 5.000 kilógamos es 5 kilogramos; por lo tanto las seis milésimas de 5.000 kilogramos serán 30 kilogramos. El esfuerzo total estará representado por la suma de estos dos

Esfuerzo debido al rozamiento.....	150 kilogramos.
— debido á la pendiente.....	30 —
Esfuerzo total para verificar el arrastre de 5.000 kilogramos en una carretera con pendiente de 0,006 (seis milésimas).....	180 kilogramos.

Análogamente verificaremos el cálculo cuando se suponga que el vehículo marcha sobre carriles de hierro. Primer esfuerzo debido al rozamiento, es igual á tres milésimas del peso total 5.000 kilogramos, ó sea 15 kilogramos: segundo esfuerzo debido á la pendiente es de 30 kilógrámos, como en el caso anterior. Podemos poner en resúmen:

Esfuerzo debido al rozamiento.....	15	kilógramos.
— debido á la pendiente....	30	—
Esfuerzo total para verificar el arras- tre de 5.000 kilógramos sobre ca- rriles de hierro en pendiente de 0,006 (seis milésimas).....)	45	kilógramos.

Análisis comparativo de los resultados anteriores.—Estudiemos detenidamente estos resultados para deducir importantes consecuencias relativas. En una carretera se necesitaba una fuerza de 150 kilógramos para trasportar 5.000 cuando el camino era horizontal; si en vez de estar así se presenta en pendiente de 0,006, es preciso añadir una fuerza de 30 kilógramos, que es sólo las dos décimas partes de la suficiente cuando el camino es de nivel. Si se trata del transporte sobre carriles de hierro, la fuerza necesaria, cuando éstos están horizontales, es de 15 kilógramos, y cuando se hallan en pendiente de 0,006, es imprescindible añadir á ésta, otra que no sólo no es los dos décimos de la primera (como sucedía en la carretera), sino que es dos veces ésta, ó sea 30 kilógramos.

Es verdad que siempre resulta para el transporte de la misma carga, un esfuerzo menor cuando aquél se verifica sobre los carriles de hierro que cuando tiene lugar sobre el afirmado; y esto es consecuencia lógica de lo muy pequeño que es el rozamiento sobre los primeros con

relacion al que origina el contacto con el firme de la carretera; pero no es ménos cierto que tal ventaja se disminuye considerablemente en el efecto total, sólo por la existencia de la rampa. En el tramo horizontal para trasportar los 5.000 kilogramos se necesitaba en la carretera un esfuerzo (150 k^s), que es diez veces mayor que el de 15 k^s suficiente sobre los carriles de hierro: la ventaja con el empleo de éstos era realmente diez veces mayor, por cuanto con una fuerza diez veces menor se trasportaba la misma carga. Cuando se encuentra el camino en pendiente de 0,006 (seis milésimas), el esfuerzo para el transporte sobre el afirmado era de 180 kilogramos, ó sea cuatro veces 45 kilogramos que se necesitan para el transporte sobre los carriles. La ventaja en este caso con el empleo de tales carriles es cuádruple una vez que con una fuerza cuatro veces menor se transporta la misma carga.

Resulta de todo lo dicho, que siendo en el tramo horizontal la ventaja ó beneficio diez veces mayor, y en la pendiente de 0,006 tan sólo cuatro veces, ha quedado reducida por esta circunstancia dicha ventaja, á un 40 por 100 de la que se obtenia en el camino de nivel.

Este resultado pone de manifiesto que á medida que aumenta la pendiente del camino,

el efecto parcial producido por los carriles de hierro influye en menor escala, y el total tiende á aproximarse al que exige el transporte sobre una carretera.

Se concretarán debidamente estas nociones, cuando conocido el mecanismo de la locomotora y su manera de funcionar, determinemos la carga de los trenes, y con esto queden definidos los límites que pueden alcanzar las inclinaciones del camino.

Descenso por una pendiente.—En la marcha descendente, fácil es deducir que el esfuerzo de tracción se calculará del mismo modo en lo que se refiere á la determinación de los dos en que se descompone el peso del vehículo: el que origina el rozamiento y el debido á la pendiente, que en este caso obra como verdadero esfuerzo motor proporcionado por el peso. Si este esfuerzo es menor que el que le opone el rozamiento para vencer esta resistencia, habrá que añadir á aquél una fuerza igual á la diferencia que exista entre ambos, y esta fuerza representará la de tracción que hay que aplicar al vehículo; y si dicho esfuerzo fuera mayor que el de rozamiento, no sólo sería inútil agregar un nuevo esfuerzo, por cuanto el debido al peso y paralelo al camino determinará la marcha, sino que para conseguir en ésta la debida regulari-

dad, será preciso emplear aparatos especiales que aumenten el rozamiento en la escala necesaria para destruir el exceso de la fuerza motriz desarrollada por el peso, impidiendo de este modo que el vehículo se precipite en virtud de la aceleración que produce la acción constante de la gravedad. Tales aparatos se conocen con el nombre de frenos.

Si aplicamos estas consideraciones al ejemplo anterior, variando el sentido de la marcha, es decir, suponiendo que en vez de determinar el esfuerzo para la subida de la rampa de 0,006, se trate de encontrar el que corresponde á la bajada, podremos decir que en el caso de la carretera, se necesita un esfuerzo igual á 120 kilogramos, que es la diferencia entre 150 kilogramos (esfuerzo resistente debido al rozamiento opuesto á la marcha) y 30 kilogramos (esfuerzo en sentido de la marcha debido á la pendiente y que viene á favorecer la tracción.

Aquí, como se ve, es preciso ejercer un suplemento de esfuerzo sobre el vehículo para verificar su movimiento. No sucede lo mismo en el caso del transporte sobre carriles de hierro. El esfuerzo motor debido al peso por efecto de la pendiente es superior al que en sentido opuesto de la marcha se debe al rozamiento, y en consecuencia, la diferencia entre sus valores

30 y 15, ó sea 15 kilogramos, representa el esfuerzo mínimo que deben destruir los frenos en la escala correspondiente para conseguir una marcha en las debidas condiciones de regularidad.

En resúmen, podemos consignar que las rampas en los caminos originan un considerable aumento de resistencia para la marcha, con relacion á lo que se verifica en un camino horizontal, y como el esfuerzo motor ha de vencer estas resistencias, se deduce lógicamente que aumenta en la misma proporcion. Las pendientes, por el contrario, disminuyen las resistencias del transporte, y en consecuencia le favorecen.

Tal es la influencia que ejercen las inclinaciones del camino en los esfuerzos resistente y motor, cuya existencia es la misma, segun hemos dicho, por más que los efectos que producen sean perfectamente opuestos.

Influencia de las pendientes en la velocidad y el trabajo.—En lo que se refiere á los otros dos elementos del transporte: velocidad y trabajo, fácil es deducir tambien cuál será la influencia que ejercen tales inclinaciones, recordando lo que se ha expuesto en el artículo anterior.

En un tiempo dado, deciamos, el trabajo

desarrollado por un motor es constante, y su expresion en la unidad de tiempo es el producto de la velocidad por la fuerza, razon por la cual á medida que uno de estos elementos aumente ha de disminuir el otro en la misma escala, para que se conserve invariable el trabajo. Ahora bien, por efecto de la rampa el esfuerzo aumenta, luego es preciso que disminuya la velocidad: en las pendientes, por el contrario, el esfuerzo disminuye, y por esto aumenta la velocidad. Ambos efectos son bien conocidos por todos, para que insistamos acerca del particular.

Podemos decir, por lo tanto, que permaneciendo el mismo el trabajo, las rampas determinan una disminucion de velocidad y las pendientes un aumento.

Para apreciar, por último, la influencia que ejercen estos accidentes del camino sobre el trabajo, es preciso que supongamos que se pretenda conservar en el trasporte por la rampa la misma velocidad que la que se tiene en el tramo horizontal, lo cual implica la idea de cambio de motor, porque si esto no se realiza el trabajo no puede cambiar. Es evidente que habiendo de seguir con la misma velocidad por la rampa, como en ésta el esfuerzo ha de ser mayor que en el tramo horizontal, el producto

de estas dos cantidades (velocidad y esfuerzo) ó sea el trabajo en la unidad de tiempo, será mayor también que en dicho tramo; y por lo tanto, si en éste desarrollaba el motor en dicha unidad de tiempo un esfuerzo máximo, no será posible salvar con él la rampa, y resultará como indispensable el empleo de lo que se llaman refuerzos.

Por el contrario, si en una pendiente se quiere conservar la misma velocidad que en tramo horizontal, como las resistencias disminuyen, el esfuerzo que se necesita para vencerlas es menor, y por lo tanto el trabajo estrictamente originado por estas condiciones será también menor; en consecuencia, se podrá emplear un motor menos poderoso para verificar el transporte de la misma carga; bien entendido que se prescinde en todo lo expuesto, respecto á las bajadas del examen detallado, de la acción aceleratriz producida por la gravedad, constantemente.

ARTÍCULO III.

Influencia de los diversos elementos del camino en el transporte.—Curvas.

La perfecta regularidad de un camino se encuentra constituida por un trazado en línea

recta y horizontal. Este tipo, verdaderamente ideal, no puede realizarse, por cuanto la irregularidad de la superficie de la tierra obliga á adoptar pendientes y curvas, merced á las que es tan sólo dado salvar las diversas alturas á que se hallan en dicha superficie los puntos poblados que ha de enlazar la línea y los pronunciados obstáculos que trasversalmente se oponen al trazado de la recta que uniera los extremos.

Por esto al dar principio en el artículo anterior al exámen de la influencia recíproca que entre sí ejercen los diversos elementos del problema del transporte, hemos tratado de simplificar el estudio considerando la variacion tan solo de una de las condiciones del camino. Así, para analizar la influencia de las inclinaciones de éste, se ha supuesto que el trazado era una línea recta; y del mismo modo en el presente artículo estudiaremos la influencia de las curvas admitiendo que se hallan trazadas en tramos horizontales ó de nivel. Conocidas estas dos influencias, fácil será apreciar sus efectos superpuestos en el caso general de que ambos elementos, inclinaciones y curvas que producen la irregularidad, se encuentren reunidos, que es lo que con más frecuencia se presenta en todo camino.

Curvas empleadas en los ferro-carriles.—

Antes, sin embargo, de proceder á este estudio, es indispensable definir las curvas empleadas en los caminos de hierro, y dar idea de un elemento importantísimo que interviene en la marcha de un vehículo cualquiera por dichas líneas. El elemento á que se hace referencia es debido exclusivamente á la curvatura del camino, y por lo tanto es forzoso estudiarle para apreciar la influencia que ejerce sobre el transporte, dedicándole lugar preferente, porque su principal influencia atañe á la seguridad de la marcha, que segun hemos dicho, es uno de los caracteres que recomiendan el moderno invento. El importante papel que desempeña la fuerza centrífuga (pues no es otro el elemento á que nos referimos) originada por el movimiento en las curvas, y la circunstancia de ser necesario para formar exacta idea de la manera de evitar sus perniciosos efectos, recordar los principios consignados en el artículo anterior, justifican que en el presente nos ocupemos con algun detalle del medio que se emplea en la práctica para conseguir aquel beneficioso resultado. Por otra parte, la índole de nuestro trabajo no nos permite entrar en el exámen minucioso de la estructura del material fijo y móvil de un ferro-carril; y por lo tanto conviene, cuando se trata

de un elemento tan importante del camino, como es la fuerza centrífuga, consignar los principios fundamentales que determinan dicha estructura en lo que al mismo corresponde (1).

Con arreglo á este criterio expondremos todo lo que se refiere á la influencia de las curvas en el transporte; es decir, que se indicarán los detalles de estructura de los citados materiales, que son indispensables para apreciar en su verdadero valor dicha influencia.

Fácilmente se comprende, que no es posible en manera alguna pasar un vehículo de una alineacion recta del camino á otra de la misma naturaleza, si éstas se presentan enlazadas únicamente por su punto de encuentro, que es el vértice del ángulo formado por dichas alineaciones.—Es imprescindible chaflanar éste, que puede ser más ó menos abierto, por líneas curvas que establezcan de una manera suave el cambio de direccion de las diversas rectas del camino enlazándolas convenientemente. Muchas

(1) La fuerza centrífuga es, en efecto, elemento inseparable del camino, y en él se encuentra, aunque no se vea, como la forma de la curva; porque el camino sólo tiene aplicacion real, merced al movimiento que en él se efectúa, y desde el instante en que se verifica el paso por las curvas, éstas dan lugar al desarrollo de dicha fuerza.

son las curvas que es dado trazar para conseguir este objeto; pero la más sencilla de todas es la circunferencia, que partiendo tangencialmente de una de las alineaciones rectas vaya á encontrar de igual modo la otra alineacion. Aun en el caso de emplear la circunferencia, es fácil comprender que puede variarse mucho el enlace, segun sea el radio que se adopte para trazar esta curva. En efecto: supongamos que se trata de establecer la union entre dos rectas que forman un ángulo cualquiera, cuyo vértice se halla en el punto de interseccion de las mismas; por este punto es dado trazar una línea recta que se halle comprendida entre las dos que forman el ángulo, y cuya posicion sea tan perfectamente intermedia, que cada uno de sus puntos diste igualmente de los lados del ángulo. Tal recta que divide éste en dos partes iguales y tiene la propiedad consignada, se llama en geometría la bisectriz del ángulo, y se traza por un procedimiento muy sencillo. Como su existencia se comprende sin dificultad, podemos prescindir de la exposicion del procedimiento geométrico para trazarla; es suficiente, por lo tanto, formar idea de su posicion respecto á los dos lados del ángulo. Si se imagina el movimiento de una persona á partir del vértice por donde pasa, y á lo largo de dicha

recta bisectriz, no cuesta dificultad alguna el comprender que á medida que se avance por ella, se encontrará la persona más distante de los lados del ángulo; pero como hemos dicho que cada uno de los puntos de la bisectriz dista longitudes iguales de dichos lados, si desde uno de estos puntos trazamos dos perpendiculares, una sobre cada lado, estas dos rectas serán iguales, porque precisamente son las que miden las distancias del punto considerado á cada uno de los lados. Ahora bien, si en el punto que se considera de la bisectriz se coloca la punta de un compás y con una abertura de éste igual á la longitud de una de aquellas perpendiculares, se describe una circunferencia, ésta pasará por los extremos de las dos perpendiculares enlazando su trazado las dos alineaciones rectas. El radio de esta circunferencia será igual á la longitud de una cualquiera de las dos perpendiculares á los lados, por cuanto éstas son iguales entre sí. Si se avanza por la bisectriz apartándose del vértice, en otro punto cualquiera se podrá verificar análoga construcción; pero como el punto elegido está más distante del vértice, distará también de cada uno de los lados más de lo que distaba el punto anterior, y como esta distancia es el radio de la nueva circunferencia que enlazará las dos

rectas ó lados del ángulo, en el caso que se considera, dicho elemento de la curva será mayor. Lo mismo podría repetirse respecto á todos los puntos de la bisectriz; y por lo tanto se encuentra confirmado lo indicado anteriormente: es decir, que pueden enlazarse dos rectas que forman un ángulo cualquiera, ó sean dos alineaciones rectas de un camino por un gran número de circunferencias, cuyos radios serán distintos. Los centros de todas estas curvas se encuentran sobre la bisectriz del ángulo; y como hemos dicho que los más próximos al vértice son los que corresponden á los radios más pequeños, resulta que la circunferencia que tenga más pequeño este elemento, será la que ménos se aparte también del vértice, y por lo tanto la que dentro de la regularidad del enlace, establecerá éste de una manera más brusca; y por el contrario, á medida que los radios vayan creciendo (es decir, que tomemos para centros puntos de la bisectriz más apartados del vértice), las circunferencias correspondientes se separan más del punto de encuentro de las dos alineaciones rectas, y entre estas establecerán un enlace mucho más suave que todos los anteriores.

¿Cuál de estos radios debe elegirse? A esta determinación conduce en parte, análogamente á lo que sucede con las pendientes, el estudio

de la influencia que ejercen dichas curvas sobre los elementos del transporte.

Fuerza centrífuga.—La traccion en estas partes curvas del camino, ó sea la fuerza que determina la marcha del tren, obra en cada momento en la direccion de la recta tangente; pero como el tren no sigue en su movimiento esta línea recta, sino la circunferencia, es forzoso deducir que la forma curva de que se trata, contraría el movimiento en cada instante, trasformándole, en definitiva, de rectilíneo en circular. Tal trasformacion no se concibe sin que se desarrolle un cierto esfuerzo resistente en el contacto de los rebordes de las ruedas con los carriles que constituyen el camino en curva, y en los cuales se ha de desarrollar aquella reaccion necesaria para contrarestar las tendencias del tren á seguir la línea recta que corresponde á la direccion de la fuerza de arrastre. Esta tendencia del tren á seguir la direccion de la tangente da lugar á la fuerza que en mecánica se conoce con el expresivo epíteto de centrífuga, porque fácil es deducir de lo dicho, que tiende á separar del centro del círculo el vehículo ó tren que recorre la circunferencia y que le separaría seguramente si no existiera el reborde de las ruedas. Merced al desarrollo de esta fuerza, se mantiene unida á la honda la pie-

dra en ella colocada, cuando se le imprime un rápido movimiento circular; y en virtud de la misma fuerza es también posible el curioso experimento que consiste en sustituir la piedra en la honda por un vaso lleno de líquido, que no se verterá en su rápido movimiento de giro, á pesar de encontrarse boca abajo en algunos momentos, porque la consignada fuerza obrará sobre el líquido comprimiéndole en todas las posiciones contra el fondo del vaso, ya que con éste no puede seguir, porque se lo impide la resistencia de la honda, la dirección de la tangente que corresponde al esfuerzo de impulsión que determina y mantiene el giro.

Estos ejemplos permiten formar idea de la acción de la fuerza centrífuga, que en el paso del tren por una curva tenderá á comprimir los rebordes de las ruedas del lado exterior contra el carril correspondiente, del mismo modo que comprimia el agua contra el fondo del vaso y éste contra la honda en el experimento anteriormente consignado. De la expresión mecánica de esta fuerza se deduce que crece rápidamente con la velocidad de la marcha y con la masa del tren, y disminuye, por el contrario, cuando aumenta el radio de la curva (1).

(1) La expresión matemática de la fuerza centrí-

Resistencia originada por la fuerza centrífuga.—Vemos, pues, como consecuencia de todo lo dicho, que en el camino circular se desarrolla un esfuerzo en direccion perpendicular á los carriles, por efecto de la marcha del tren, esfuerzo que no existia en el caso del movimiento en línea recta. Ahora bien, este esfuerzo se traduce en una resistencia, que análogamente á lo que sucede con el esfuerzo motor, obra en cada instante en la direccion de la tangente á la curva trazada en el punto que corresponde á dicho momento de la marcha, aunque en sentido contrario; es decir, oponiéndose á ésta. En efecto, la resistencia de que se trata tiene por causa la presion que se establece entre el carril y los rebordes de las ruedas, como resultado de la fuerza centrífuga que oprime éstos contra aquél: por lo tanto, esta presion, que como toda fuerza puede apreciarse en kilogramos, desempeñará un papel análogo al del peso del vehículo puesto sobre el camino, y que como se ha dicho en el capítulo anterior, origina una resistencia en la direccion de la marcha, si bien obra en sentido contrario, cuyo valor se determina

fuga en funcion de la velocidad, la masa y el radio, es:
 $f = \frac{mv^2}{R}$, representando por m la masa, por R el radio por v la velocidad y por f la fuerza centrífuga.

multiplicando el número de kilogramos representativo del peso por el coeficiente de rozamiento que corresponda á la naturaleza de los cuerpos puestos en contacto. Del mismo modo se determinará la resistencia debida á la fuerza centrífuga: ésta obra en direccion horizontal y perpendicularmente al carril; por lo tanto, la resistencia que en este caso se desarrolla, será igual al valor de la fuerza centrífuga, expresado en kilogramos, multiplicado por el coeficiente de rozamiento que corresponda. En resúmen, puede decirse que en cada punto de la curva se desarrollarán dos resistencias debidas á la marcha; y que no son otra cosa que los rozamientos originados por el peso y por la fuerza centrífuga.

Objeto de los rebordes de las ruedas.—Lo primero que ocurre al examinar el efecto de la fuerza centrífuga, es deducir la importancia del papel que desempeñan los rebordes de las ruedas. Por más que no tratemos de describir en detalle la disposicion que se da á estos elementos de los vehículos que forman el tren: la circunstancia de ser imprescindible para apreciar aproximadamente, por lo ménos, el aumento de resistencia ocasionada en la marcha por las alineaciones curvas, tener en cuenta la mencionada disposicion, por cuanto de ella son conse-

cuencia, nos obliga á detenernos un momento en este detalle del material móvil.

Evidentemente, sería punto ménos que imposible conseguir, áun en la marcha, por las alineaciones rectas, que permanecieran las ruedas sobre los carriles, si aquellas presentáran la disposición que ofrecen las de los carruajes ordinarios. Es indispensable sin duda alguna guiarlas en su movimiento, y á este objeto satisfacen los rebordes laterales que se dejan en las mismas. Compréndese sin dificultad, que si la separacion de los rebordes fuera exactamente igual á la distancia que existe entre los carriles, colocadas sobre éstos las ruedas, de modo que sus llantas se apoyen en la superficie superior de los mismos, quedando los dos rebordes en la parte interior de la vía y en contacto con las superficies laterales de los carriles, sería preciso, para verificar la marcha, vencer además de la resistencia que inevitablemente se desarrolla por el peso del vehículo en la superficie superior del carril, el rozamiento originado por el contacto lateral. Para evitar este inconveniente se procura colocar las ruedas de cada eje de modo que la separacion entre sus rebordes sea un poco menor que la distancia que existe entre las aristas interiores de los carriles. Este pequeño juego, sin anular en manera alguna el efecto que

producen los rebordes oponiéndose al descarriamiento, impide que en la marcha en línea recta se desarrollen otras resistencias que la debida al peso del vehículo en su contacto con la cara superior del carril, y que en las líneas curvas constituyen la inevitable consecuencia de la forma de las mismas.

Pero no es sólo este efecto el que la fuerza centrífuga produce. En último resultado, no se traduciría en otra cosa, si á él se concretase la acción de dicha fuerza, que en un aumento de coste en la tracción, pues como veremos más adelante, es á lo que se reduce todo aumento de resistencia. Es verdad que este aumento de coste sería perjudicial por cuanto no corresponde á un efecto útil y reproductivo; pero atenuado cuanto fuera posible, habría que aceptarle, porque al fin y al cabo sustituiría á otro gasto tal vez mucho mayor y que se evita con el empleo de las curvas, causa exclusiva del incremento de resistencia á que es debido el aumento de coste.

Al examinar en conjunto, despues del estudio analítico que practicamos, la escala en que influyen todos los elementos del problema, tendremos ocasion de depurar este inconveniente, que ya se ha encontrado tambien en la marcha por el camino en recta, pero inclinado. Hay, sin embargo, otra circunstancia que merece prefe-

rente atencion, y que atañe á la seguridad en la marcha, considerablemente más comprometida por efecto de la fuerza centrífuga en los trayectos en curva, que en los rectos, donde aquella fuerza no se desarrolla. Esta consideracion justifica, sin posterior estudio, el aumento de coste á que antes se hacía referencia, y justificaria otro mayor si fuese preciso, una vez que el conseguir la seguridad en la marcha es el primero de los resultados que se pretenden alcanzar con el moderno medio de transporte, y en manera alguna es posible dejar de sacrificar todo cuanto sea preciso para realizarle de una manera perfecta.

El riesgo de que se trata fácilmente se comprende. Aun estando provistas las ruedas de rebordes, como los correspondientes á los del lado exterior de la curva formada por los carriles están oprimidos contra éstos por la constante accion que ejerce la fuerza centrífuga, no cuesta trabajo el concebir, que sí por efecto de una irregularidad cualquiera del camino, los rebordes quedáran en un momento dado un poco más altos que la cara superior del carril, desapareciendo el contacto lateral con éstos, la mencionada fuerza no se hallaria contrarestanda por la reaccion de las barras de hierro que en la marcha regular destruye su poderoso es-

fuerzo, y éste, actuando en dicho instante sin contraresto alguno, produciría el perjudicial efecto que tan perfectamente expresa el nombre de la fuerza, ocasionando ó pudiendo ocasionar una verdadera catástrofe al huir el tren rápidamente del centro de la curva, por haber abandonado los carriles que le guiaban en su movimiento.

Disposicion del material fijo para evitar el descarrilamiento en las curvas.—Veamos si puede evitarse en cierta medida este tan perjudicial efecto. Precisamente el pequeño juego, que segun se ha dicho, conviene dejar entre las ruedas de un mismo eje y los carriles, sirve, á la vez que una disposicion especial en la postura de éstos, no para destruir la accion de la fuerza centrífuga en lo que se refiere al aumento de resistencia, sino para disminuir este efecto y trasladarle del carril exterior, donde existiendo, se corre el peligro que se deja mencionado, al carril interior, en el cual no concurren las circunstancias anteriores.

Indiquemos la posicion en que deben colocarse los carriles en las curvas para conseguir aquel resultado, y de este modo se comprenderá la escala en que se realiza el fin apetecido.

En las líneas rectas del camino, los dos carriles se disponen de manera que sus caras su-

periores sobre las que han de apoyarse las llantas de las ruedas, se encuentren á la misma altura, es decir, cual corresponde al perfecto asiento del carruaje, que no presentará inclinacion alguna en sentido transversal, al colocarle sobre los carriles. En las curvas, por el contrario, se dispone el carril exterior un poco más elevado que el interior; y esta modificacion, unida al juego lateral de las ruedas de un mismo eje, permite equiparar cuanto es posible, en lo que atañe á las condiciones de seguridad, la marcha por las curvas al movimiento por las rectas. Establecido el camino de este modo, veamos cuál es el resultado que se consigue. No hay para qué decir que la fuerza centrífuga no desaparece por el hecho de esta particular disposicion; pero examinemos si quedan contrarrestados sus perniciosos efectos, que es precisamente lo que nos proponíamos.

Supongamos que el tren marcha por una curva cualquiera: la fuerza centrífuga tendrá el valor que corresponda á el peso del tren, á la velocidad de la marcha y al radio de la curva, y tenderá, como siempre, á oprimir el reborde de las ruedas exteriores contra el carril del mismo lado; y tal tendencia podria realizarse fácilmente si los carriles se encontrasen á la misma altura. A pesar de lo dicho anteriormente, insistamos

un poco en este fenómeno para formar exacta idea del mismo y comprender lo que se verifica en el caso más complejo de la disposición adoptada para los carriles en las curvas. Los carriles suponemos que están á la misma altura: sobre ellos descansa el carruaje por las llantas de las ruedas, y como éstas se hallan entre sí un poco ménos separadas que aquéllos, resulta que es posible correr transversalmente el vehículo; de modo que si los dos rebordes de las ruedas estaban algo separados de los carriles y nosotros empujamos el carruaje del interior de la curva al exterior, podremos conseguir que el reborde de este lado llegue á ponerse en contacto con el carril correspondiente, y que el reborde interior quede separado del mismo lado en una distancia igual al juego que se hubiere dispuesto entre las ruedas y los carriles. Ahora bien, ¿qué resistencia hay que vencer para realizar este corrimiento? Fácil es formar idea de ella recordando lo dicho en el artículo anterior acerca de la marcha de un vehículo por un camino horizontal, porque el caso que se presenta es exactamente el mismo. El peso del vehículo insiste sobre los carriles y producirá un rozamiento ó resistencia cuyo valor sabemos calcular, y que se opondrá al corrimiento transversal que tratamos de producir, sin que

exista otra resistencia, por cuanto hemos dicho que cuando se trata de un camino de nivel ésta es la única que hay que vencer para determinar la marcha. Ahora bien, la fuerza centrífuga reemplaza en el movimiento por las curvas el empuje que ha de producir el corrimiento trasversal del carruaje, y que nosotros hemos supuesto que le imprimíamos cuando se le consideraba colocado sin movimiento alguno sobre la vía; por consiguiente, si este empuje habia de vencer tan sólo la resistencia originada por el rozamiento para mover trasversalmente el carruaje, lo mismo le sucederá á la fuerza centrífuga que arrojará el carruaje hácia el exterior, ocasionando la presión del reborde de la rueda de este lado sobre el carril correspondiente, en el momento en que el valor de dicha fuerza supere al valor de la resistencia debida al rozamiento, y esto se verificará siempre, porque es el primero muy superior al segundo.

Tan funesto resultado no tiene lugar cuando el carril exterior está un poco más elevado que el interior. Supongamos, lo mismo que en el caso anterior, el carruaje posado sobre los carriles en una curva, pero sin movimiento alguno. Es evidente que estará el vehículo inclinado en dirección trasversal, por efecto de la distinta altura de los carriles; y si pretendemos empujar-

le, como ántes, del interior de la curva al exterior, será preciso que desarrollemos el esfuerzo necesario para mover el vehículo colocado, no como ántes, segun podíamos suponer, en un camino horizontal, por efecto de la igualdad de altura de los carriles, sino para recorrer el camino que tiene la pendiente determinada por el desnivel y separacion de las barras dispuestas ahora á diferentes alturas. En este caso decíamos que las resistencias eran dos: una, como en el camino horizontal, debida al rozamiento, y otra, constituida por la parte del peso del vehículo, que daba lugar á una fuerza actuando en el sentido del camino, pero en direccion contraria á la marcha; es decir, oponiéndose á ésta, cuando se trataba de subir por el camino inclinado, que es el caso que se presenta al pretender correr el carruaje del carril interior, que está más bajo, al carril exterior, que está más alto. Ahora, por lo tanto, la fuerza centrífuga que sustituye al empuje cuando se verifica la marcha, tendrá que vencer ambas resistencias, y en consecuencia, su efecto aparente será menor que el producido en el caso anterior.

Sabemos tambien, por lo dicho en el artículo precedente, que á medida que aumenta la inclinacion del camino aumenta tambien el valor de la resistencia debida al peso del vehículo, y que

se opone á la marcha; por consiguiente, si nosotros calculamos la diferencia de altura de los carriles, de modo que resulte para la inclinacion transversal la pendiente que ocasiona una resistencia debida al peso igual á la fuerza centrífuga, el efecto de ésta quedará destruido por el de aquélla, y el resultado que se obtenga será que en la marcha no se desvíe el carruaje hácia el carril exterior, es decir, que haya desaparecido la causa de peligro que se trataba de evitar.

Traslacion de la resistencia ocasionada por la fuerza centrífuga del carril exterior al carril interior, merced á la disposicion del material fijo y al juego de las ruedas con relacion á los carriles.—Puede objetarse, por poco que se reflexione, que tal resultado corresponderá en una curva determinada al valor que tenga la velocidad de la marcha, y como en el momento que la velocidad varíe, varía tambien la fuerza centrífuga, el cálculo indicado anteriormente deja de ser exacto, por cuanto corresponde á un valor de dicha fuerza que no es constante en todos los momentos. Precisamente, atendiendo á esta circunstancia, no hemos dicho, al indicar el efecto favorable que podrian producir de consuno el juego dejado entre las ruedas y los carriles, y la disposicion de éstos en las curvas,

que desaparecería por completo el aumento de resistencia debido á la fuerza centrífuga, sino que en realidad, lo que se consigue es trasladar dicha resistencia al carril interior donde el contacto del reborde de las ruedas, si bien produce un rozamiento, éste no es tan grande, y la presión que le origina no puede ser motivo de un funesto accidente, dado caso que por cualquiera circunstancia dejara de existir dicho contacto. Despues de lo que se deja expuesto, se comprenderá perfectamente este aserto. La fuerza centrífuga varía con la velocidad y con el radio de la curva: de modo que en una curva determinada, las variaciones del valor de aquélla serán debidas exclusivamente á la velocidad, puesto que el radio es siempre el mismo. Si nosotros tomamos para verificar el cálculo que ha de permitirnos deducir la diferencia de altura de los dos carriles, el valor que corresponda á la fuerza centrífuga cuando se suponga la mayor velocidad que pueda llevar el tren en el paso de las curvas, es evidente que si por efecto de esta disposicion queda contrarestada completamente la fuerza centrífuga por la resistencia que origina trasversalmente el peso del tren, cuando la velocidad sea menor, y en consecuencia sea menor tambien la fuerza centrífuga, como la resistencia que á ésta se opone es la misma

que ántes, porque depende exclusivamente de peso del tren, y éste no varía porque varíe la velocidad, la nueva fuerza centrífuga, siendo menor que la resistencia, no sólo será destruida por ésta, impidiendo que el tren corra del interior de la curva al exterior, sino que se verificará lo contrario, es decir, que el tren se correrá del exterior al interior, por cuanto ha de ser preponderante el efecto originado por la resistencia que obra en este sentido, con relacion al producido por la fuerza centrífuga que obra en el opuesto. El resultado, en definitiva, será que los rebordes de las ruedas interiores oprimirán el carril correspondiente; y por lo tanto, al destruir el efecto de la fuerza centrífuga en lo que se refiere á la seguridad de la marcha, se ha trasladado el efecto relativo al aumento de resistencia al carril interior. Conviene hacer notar que la presión normal al carril interior que origina dicho aumento de resistencia es mucho menor que la producida en el carril exterior cuando ambos están á la misma altura. En efecto dicha presión es igual á la diferencia que existe entre el valor de la componente del peso del vehículo que tiende á aproximarle al carril interior, y el valor de la fuerza centrífuga que tiende á separarlo del camino.

Hé aquí puestas de relieve las ventajas que

proporcionan la sobreelevacion del carril exterior y el pequeño juego que se deja entre las ruedas y las barras de hierro.

Indicacion del cálculo de la sobreelevacion del carril exterior con relacion al interior.—

Variando con el radio la fuerza centrífuga, fácilmente se deduce que para cada curva hay que calcular el valor que corresponde á la sobreelevacion del carril exterior, fijando para el cálculo relativo á la curva que se considere, el valor máximo de la velocidad y el mayor que corresponda á la carga insistente sobre un par de ruedas, que es el de la locomotora que haya de emplearse, por ser éste el más pesado de todos los vehículos que componen el tren.

Claro es que determinada la diferencia de nivel de los carriles para la carga mayor sobre un par de ruedas, cuando dicha carga sea más pequeña, se obtendrá el mismo resultado que se indicó respecto á la variacion de velocidad, porque la fuerza centrífuga disminuye, no sólo con la velocidad, sino tambien con la carga, aunque sean distintas las proporciones en que se realizan una y otra disminucion.

Vemos, pues, que la fuerza centrífuga tiende en cierta escala á aumentar las resistencias, por más que la disposicion descrita atenúe no poco sus efectos.

Resistencia producida por la fijeza de las ruedas al eje y á los vehículos.—Un detalle de construcción de los vehículos que constituyen el tren, produce, sin embargo, los mayores incrementos de resistencia en el paso de las curvas. Dicho detalle consiste en el hecho de ir unidas invariablemente las ruedas á los ejes del vehículo; es decir, que éstos giran á la vez que aquéllas, y por lo tanto en la marcha es idéntico el número de vueltas que da una rueda que el que da la otra. Además de esto, los ejes no pueden variar su posición relativamente al carruaje; ó lo que es lo mismo, aquéllos permanecen siempre paralelos. Estas disposiciones que son muy favorables, en lo que atañen á la seguridad de la marcha, presentan sin embargo el inconveniente de producir un aumento de resistencia que es tanto mayor cuanto menor es el radio de las curvas.

Consideremos una de estas líneas constituida por sus dos carriles: evidentemente la longitud del exterior es mayor que la del interior, por cuanto siendo paralelas corresponden á circunferencias de radios distintos, siendo mayor el de la primera que el de la segunda. De esto se deduce, que de las dos ruedas, la que corresponde al carril exterior tiene que recorrer un camino mayor. Ahora bien, como según hemos

dicho, las ruedas dan el mismo número de vueltas, resulta claramente que cuando la del lado interior haya dado las que correspondan á su camino, la exterior no habrá recorrido todo el suyo, y por lo tanto salvará la parte que le falta, no girando, porque la otra ya no gira, una vez que terminó su camino, sino deslizando y produciendo un aumento de resistencia, debido exclusivamente á este deslizamiento, que no existe cuando los dos carriles tienen la misma longitud, como se verifica tan sólo en las alineaciones rectas.

Por otra parte, si los ejes no estuviesen unidos al carruaje, al entrar éste en la curva, aquéllos, girando, se colocarían en la dirección del radio de la circunferencia; del mismo modo que se verifica en los vehículos ordinarios, cuyo eje de delante gira alrededor de la clavija que le une á la caja, y merced á esto se comprende que puedan tomar vueltas muy pequeñas. Pero como tal cosa no sucede en los carruajes del tren, sino que las cuatro ruedas de cada uno constituyen, por su invariable enlace, un rectángulo indeformable, se comprende fácilmente que cuanto más distantes estén los ejes, más difícil será colocarlos en las curvas; y en manera alguna podría conseguirse este resultado si no existiera entre las ruedas y los carriles el

juego ó pequeña diferencia de separacion con respecto á la de los carriles ántes descrita. Este juego, vemos por lo tanto, que tiene un doble objeto; pero no puede desconocerse que si presta este segundo servicio, es á expensas de los rozamientos que han de producirse para adquirir el carruaje en la curva aquella posicion, á la que no llega sino despues de correrse transversalmente cuanto es preciso para que se halle inscrito en la misma el indeformable recángulo que determinan las cuatro ruedas. Fácilmente se comprende que cuanto más cerrada sea la curva, es decir, cuanto más pequeño sea su radio, mayor será la dificultad que exista para conseguir aquel resultado, y por consiguiente mayor será tambien la resistencia que se origine.

Influencia de las curvas en el esfuerzo motor y en la velocidad.—A pesar de que se emplean diversas disposiciones para disminuir dichos efectos, análogamente á lo indicado para el de la fuerza centrífuga, puede decirse como resúmen, que las curvas influyen desfavorablemente sobre el esfuerzo motor, por cuanto dan lugar á nuevas resistencias. En lo que atañe á la velocidad tienden á disminuirla, no sólo por este aumento de resistencia, sino por las ventajas que resultan en la marcha, no pronunciando considera-

blemente este elemento que de tan notable manera influye á su vez en el valor de la fuerza centrífuga. Y siendo tanto más grandes estos efectos, cuanto menor es el radio de la curva, podemos deducir que conviene disponer en los trazados alineaciones curvas de gran radio, análogamente á lo deducido para las inclinaciones del camino, que es preciso disminuir cuanto sea posible.

Resultados experimentales relativos á las resistencias producidas en el paso de las curvas de diferentes radios.—De numerosas experiencias practicadas por Polonceau y Forquenot, con objeto de conocer los aumentos de resistencia en el paso de las curvas, se han obtenido los siguientes resultados medios: en curvas de radio superior á 500 metros pueden despreciarse las resistencias extraordinarias por ser relativamente muy pequeñas: en efecto, el aumento de éstas es tan sólo de medio kilogramo por cada tonelada de carga del tren cuando la curva es de 1.000 metros de radio; pero si éste disminuye á la mitad, ó sea 500 metros, la resistencia aumenta hasta ser 2 kilogramos, es decir cuatro veces mayor por la misma unidad: cuando el radio es de 400 metros, la resistencia se eleva á 3 kilogramos, y si desciende aquél á 300 metros, ésta llega á 4 kilogramos.

Tales resultados que deben servir de base para la determinacion práctica del aumento de resistencia ocasionado en el paso por las curvas, confirman lo que las consideraciones teóricas permitian esperar, y definen en cierto modo los límites que deben adoptarse para el empleo de estas alineaciones.

ARTÍCULO IV.

Esfuerzo motor.

I.

El elemento más importante del problema mecánico del transporte, es sin duda alguna el esfuerzo destinado á vencer las resistencias originadas por la carga, que como hemos visto en los artículos anteriores, tienen valores diferentes según sean las condiciones del camino. Este esfuerzo que contraresta y vence en cada momento las citadas resistencias, merece especialísima atención en el caso de un ferro-carril, por cuanto con su extraordinaria potencia se consigue la principal ventaja de los caminos de esta naturaleza.

No se trata de aplicar para el transporte la fuerza de los animales. Frente á la fuerza in-

animada de la gravedad, que como se ha dicho anteriormente, produce las resistencias que hay que vencer, se ha colocado en este siglo la fuerza inanimada también de un agente de poderosos bríos, armonizando debidamente el planteamiento del problema mecánico, con arreglo al superior criterio que emana de la idea del progreso. La inteligencia del hombre se emplea en disponer el aparato adecuado para el desarrollo de la acción de tal agente, que dotado de este modo de inconsciente actividad, realizará el material trabajo, que ántes aniquilára las fuerzas físicas del ser, autor de tan beneficioso aprovechamiento.

De esta sencilla consideración se deducen fácilmente las dos partes que entraña el estudio de este elemento del transporte: naturaleza y condiciones del esfuerzo motor: aparato que permite desarrollarle, dirigirle y hacer de él útil aplicación.

II.

Trasformación del agua líquida en vapor de agua.—Todo el mundo sabe que cuando se eleva la temperatura del agua contenida en un vaso, dicho líquido cambia su estado y se convierte en sustancia gaseosa de idéntica natura-

leza, pero cuyo aspecto es muy distinto al que presentaba el cuerpo ántes de haberle sometido á la accion del calor. La primera circunstancia que llama la atencion al examinar el agua en estos dos estados, consiste en que la masa líquida que ocupaba un cierto volúmen en la vasija donde se hallára colocada permanecia quieta, en perfecto equilibrio, miéntras no se le imprimiera movimiento alguno, y sin poder ocupar un volúmen mayor. Por el contrario, se observa que el agua en estado gaseoso ó de vapor, producido exclusivamente por la elevacion de temperatura, tiende á esparcirse por la atmósfera, ocupando un volúmen cada vez más grandé. Y hasta tal punto se verifica esto, que si se pretende realizar la vaporizacion en una vasija cuya boca esté cubierta por una tapa, la experiencia de todos los dias demuestra, que despues de haber obrado el calor en cierta escala sobre el agua, el vapor en que ésta se convierte levanta la tapa que le impedia adquirir el aumento de volúmen anteriormente consignado.

De éste tan sencillo experimento se desprenden tres importantes consecuencias: 1.^a Que los elementos esenciales ó moléculas (como se llaman científicamente) que por su agrupacion constituyen la masa de agua, se hallan más separados cuando ésta se encuentra en el esta-

do gaseoso que cuando se halla en el estado líquido, una vez que siendo la misma en uno y otro caso la cantidad de materia (agua), en el primero ocupa un volúmen mayor. 2.^a Que esta separación de las moléculas, ó el movimiento que la ha producido, se debe tan sólo á la acción del calor, porque no ha obrado otro agente. Y 3.^a Que por la tendencia del vapor á ocupar un volúmen cada vez más grande, se puede vencer una resistencia, por cuanto el peso de la tapa que cubria la vasija es levantado por el vapor en el momento que la temperatura adquiere un cierto y determinado desarrollo.

Estas consecuencias entrañan la causa y el efecto del fenómeno examinado. Es la primera la acción del calor que separa las moléculas líquidas para colocarlas en la disposición que corresponde al estado gaseoso; y es el segundo el movimiento transmitido á la cubierta de la vasija, como resultado inmediato de aquella disposición de las moléculas, que origina y constituye el vapor de agua, cuya misión en el hecho experimental que se examina, no es otra que servir de intermediario entre la causa y el efecto, ó lo que es lo mismo, entre el calor y el movimiento producido.

Calor.—No nos es posible detenernos á exponer las múltiples y curiosas experiencias que

han dado origen al establecimiento de la racional hipótesis que hoy trata de depurar la ciencia, para consignar como fundamento indestructible que el calor no es otra cosa que un movimiento de las partes esenciales y constitutivas de los cuerpos. Si de tal estudio pudiéramos ocuparnos, llegaríamos á vislumbrar, que el movimiento de la cubierta de la vasija ántes considerada, no es más que una trasformacion de otro movimiento, hoy desconocido en su naturaleza, pero racionalmente sospechado, que tiene su campo de accion en el combustible del hogar productor del calórico, y que se origina por la caída de los átomos de oxígeno del aire sobre los átomos de carbono del combustible, caída determinada por la afinidad ó tendencia á unirse que existe entre ambos elementos, y que se patentiza por el hecho de la combustion. Solo con lo indicado puede comprenderse con cuánta sencillez será permitido plantear todos los problemas que se refieren al calor y al trabajo mecánico, el día que se convierta en principios definidos, la hipótesis que se deja consignada.

Equivalente mecánico del calor.—El primer paso en este sentido se ha dado con éxito seguro, por cuanto confirma plenamente las esperanzas que se abrigaban. Ya que no era po-

sible penetrar en la masa de los cuerpos calentados para estudiar el supuesto movimiento de sus partículas esenciales, como esencia íntima á su vez del calor apreciado por nuestro organismo, se ha tratado de buscar la relacion que existe entre este calor y el resultado de los movimientos que nos es dado producir. Ahora bien, todo movimiento entraña, como se ha indicado en el artículo primero, un trabajo mecánico, y como aquél, y por lo tanto éste, puede ser producido por el calor segun confirma la experiencia ántes consignada, se ha determinado en cada caso particular, ó lo que es lo mismo, en cada experiencia, la cantidad de calor desarrollado en la produccion de un trabajo conocido: obteniendo como notabilísimo resultado que la relacion en que se hallan estas cantidades es un número constante igual á 425. Es decir, que el cociente que resulta dividiendo la cantidad de trabajo mecánico, expresada en kilográmetros (véase el artículo primero de este capítulo) por la cantidad de calor expresada en unidades caloríficas, es en todas las experiencias igual á 425; lo cual se expresa diciendo, que el número de kilográmetros ó de unidades de trabajo producidas por el calor es cuatrocientas veinticinco veces mayor que el número de unidades que representa el calor empleado en producirle, ó que por efec-

to de su produccion se ha desarrollado; de donde puede deducirse que á cada unidad de calor corresponden 425 kilográmetros, ó que á este trabajo equivale cada unidad de calor.

Unidad de calor ó caloria. — Manifestando cuál es la unidad de calor, se expresará y comprenderá más claramente tal equivalencia. Entre la unidad que se inquiera y la relativa al trabajo, existe una semejanza extraordinaria; éste se definia por el trabajo producido en la elevacion de un kilogramo á un metro de altura, y se llamaba kilográmetro; y la que sirve para medir el calor no es otra cosa que la cantidad de accion de este agente, necesaria para hacer pasar de la temperatura de cero grados á la temperatura de un grado, á un kilogramo de agua; á tal unidad se llama caloria. Podemos, por lo tanto, resumir todo lo dicho, consignando que una caloria. (unidad de accion del agente calor) equivale á 425 kilográmetros de trabajo mecánico. Esta relacion deducida y comprobada en gran número de experiencias, fué sospechada por Mayer, médico de Hibroun, en Wurtemberg, quien indicó en 1842 el procedimiento que podia seguirse para determinarla, y hoy nos permite expresar en calorías un número cualquiera de kilográmetros, y viceversa, en kilográmetros un número cualquiera de calorías.

Aplicacion inmediata de las nociones que preceden.—Este resultado es importantísimo y justifica las explicaciones que preceden. En efecto, nuestro estudio tiende á determinar las condiciones del trabajo de transporte realizado por el agente calor, pues ya hemos visto que el vapor funciona sólo como intermedio, si bien indispensable. Del conocimiento de aquella relacion ó equivalencia se podria, por lo tanto, deducir el número de calorías necesario para obtener el trabajo de transporte que se quiere desarrollar, y en consecuencia la cantidad mínima de combustible que habrá de gastarse, una vez que éste origina la cantidad de calor representada por aquéllas.

Después de lo que precede, podria preguntarse cuál es la causa de que por el cálculo indicado sólo se obtenga un mínimo para el valor del combustible; lo que parece indicar que para producir el efecto apetecido ó el trabajo necesario que se desea realizar, es preciso consumir una cantidad de combustible más grande que la calculada.

Examinemos detenidamente el fenómeno de la vaporizacion, aplicando en la escala que es posible las nociones expuestas, y con facilidad encontraremos contestacion á dicha pregunta.

Distribucion del calor desarrollado por la combustion.—El primer efecto que produce el calor sobre la masa líquida contenida en el vaso, es su trasformacion en sustancia gaseosa ó vapor, separando las moléculas de agua de las posiciones que les correspondian en el estado líquido, y en las que se mantenian, merced á la fuerza de cohesion; luego puede deducirse que el calor ha desarrollado otra fuerza de accion inversa á ésta, porque sólo de tal modo se comprende la separacion de las moléculas. Tenemos, por lo tanto, dos fuerzas en accion: si la debida al calor es preponderante, el estado será gaseoso, si, por el contrario, el calor desaparece y con él la fuerza que desarrolla, volverá á actuar la de cohesion, y el cuerpo pasará al estado primitivo, ó lo que es lo mismo, el vapor se liquidará. Es evidente, por otra parte, que al obrar la fuerza engendrada por el calor, separando las moléculas, realiza, con relacion á éstas, un trabajo análogo al producido en el arrastre de un vehículo sobre un camino cualquiera. Es verdad que el vehículo, en el caso de la trasformacion del líquido en vapor, es invisible aisladamente; pero no por esto es ménos apreciable el movimiento de la totalidad de las moléculas, y en consecuencia, debe admitirse tambien el desarrollo del trabajo. Por más que

existe manera de medirle, nosotros no podemos detenernos en este importante particular; basta saber que este trabajo se desarrolla, con lo cual implícitamente se consigna, en virtud de lo dicho acerca de la equivalencia entre el trabajo y el calor, que por cada 425 kilográmetros de aquél, se habrá consumido una caloria. Hé aquí una buena parte del calor, empleada exclusivamente en colocar las moléculas de agua en las condiciones necesarias para servir de intermedio entre la acción de aquel agente y el trabajo necesario que se trata de producir. Pero estas moléculas se encuentran también á cierta temperatura, debida á la misma causa, es decir, al calor desarrollado por el combustible; de modo, que en realidad, este calor ó la acción que se ejerce sobre el agua, se divide en dos partes en el fenómeno de la vaporación: una que se emplea en producir el trabajo de separación de las moléculas, y otra que eleva la temperatura de estas moléculas. ¿Cómo pudiera explicarse esta división en dos efectos del calor producido por el combustible? Si se admite que en éste se desarrolla un movimiento molecular como resultado de la caída de los átomos de oxígeno del aire sobre los átomos de carbono, y que esta rapidísima vibración se trasmite á las moléculas que forman la vasija, y de éstas á las

del agua en el estado líquido, puede sospecharse que las últimas adquieren un doble movimiento análogo á el que se comunica á una piedra colocada en una honda cuando la persona que hace girar ésta corriese por un camino. En esta comparacion explicativa, la piedra representa la molécula de agua, el cambio de sitio de la persona, y por lo tanto de la piedra, es el primer efecto producido por el calor; y el rápido movimiento de la honda, que lo es tambien de la piedra, representa el calor comunicado á la molécula con arreglo á la moderna hipótesis dinámica.

Si continuamos haciendo uso de esta comparacion, podemos darnos cuenta de la segunda parte del fenómeno que se verifica en la experiencia del agua, vaporizándose en el vaso cubierto por la tapa. Supongamos que despues de un recorrido de veinte metros realizado sobre el camino por la persona que lleva la honda, suelta ésta y con ella la piedra. Ya sabemos que la piedra, lo mismo que el carruaje descarrilado en la marcha por una curva de ferrocarril, será lanzada en la direccion de la tangente en virtud de la fuerza centrífuga que deja de estar contrarestada, lo mismo en el caso de la honda que en el de la marcha por la curva. Establezcamos ahora la comparacion entre este

fenómeno y el que se admite para explicar el cambio del estado líquido al de vapor. Si los veinte metros de recorrido sobre el camino representan la separación á que se hallan las moléculas de agua en el momento de su paso al estado gaseoso, y que en este instante queda suprimida la fuerza central que mantenía aquéllas en rápido giro, como segundo efecto producido por el calor que se trasmite desde el hogar, evidentemente serán lanzadas las moléculas de un modo análogo á como eran despedidos la piedra y el carruaje de los ejemplos anteriores; y de una manera fácil se comprende que chocando estas partículas contra la cubierta de la vasija, podrán levantarla si su fuerza de impulsión llega á vencer la resistencia que opone el peso de dicha cubierta. Cuando este obstáculo no exista, las moléculas seguirán libremente el camino que les marque dicha impulsión, y por esto en tales circunstancias el vapor tiende á ocupar un volúmen cada vez más grande.

Ahora bien, cuando la vasija está cubierta, decíamos anteriormente que se necesitaba llegar á cierta temperatura para conseguir que saltara la tapa. Habiendo entendido lo que precede, no será difícil comprender también por qué no se verifica inmediatamente que el agua

se ha convertido en vapor, el movimiento de la tapa, y por qué éste tendrá lugar tanto más tarde, y exigiendo un mayor aumento de temperatura, cuanto mayor sea el peso de dicha cubierta. La fuerza que ocasiona este movimiento no es otra que la impulsión que determina la fuerza análoga á la centrífuga de nuestro ejemplo, cuando cesa el rápido movimiento de giro de la molécula de vapor. Si la resultante ó suma de todas estas fuerzas individuales es menor que el peso de la tapa, ésta no se moverá, porque sometida á ambos esfuerzos obedece á la acción del mayor; pero si después de haber conseguido que el agua tome el estado de vapor, es decir, de haber gastado la parte de calor, que se consume, según hemos dicho, en producir este efecto, se continúa aumentando la temperatura, el exceso de calor se empleará solamente en acrecentar el rápido movimiento de las moléculas situadas á las distancias á que hubieren quedado, y cuanto mayor sea la velocidad de este movimiento, mayor será también la fuerza con que choquen la cubierta, la cual dejará de contrarrestar, digámoslo así, aquel rápido movimiento, cuando la impulsión debida á éste sea superior á la resistencia de tal obstáculo. Así se comprende, que aumentando en cierta escala la temperatura, se

conseguirá producir el movimiento en los diversos casos que pueden presentarse.

Fuerza elástica del vapor de agua.—Tal es la circunstancia que constituye la fuerza elástica del vapor encerrado en la vasija, y cuya potencia será tanto más grande cuanto más elevada sea la temperatura del mismo. Como esta fuerza elástica es la que pone en movimiento la cubierta, la parte de calor que da lugar al desarrollo de aquélla, es la que se emplea en realizar el trabajo que ocasiona dicho movimiento.

Una sencillísima y lógica consideracion nos permitirá disponer de todos los elementos necesarios para dar contestacion cumplida á la pregunta anteriormente formulada, respecto al aprovechamiento del calor desarrollado por la combustion. Del mismo modo que el movimiento de las moléculas que resulta de este fenómeno químico se trasmite á la masa de agua, produciendo los efectos que se han examinado, igualmente se propaga ó trasmite á la masa de aire que rodea el aparato, originando en las moléculas de la misma rapidísimos movimientos, cuyo efecto es perdido para el fenómeno de la vaporizacion, y que se traducen en pérdidas de calor. Estas cantidades de calor unidas á otras que se pierden por distintas cau-

sas, y muy principalmente á la que se ha gastado en trasformar en vapor la masa líquida de agua, deben ser proporcionadas por la combustion; y en consecuencia del calor desarrollado por ésta, sólo se aprovecha en producir trabajo mecánico industrial, la parte que se aplica al movimiento de las moléculas de vapor de agua (origen de la fuerza elástica), que chocando convenientemente, puede vencer las resistencias exteriores.

De aquí se deduce, que si se calcula la cantidad de calor que corresponde á este único trabajo, haciendo aplicacion de la equivalencia entre estos efectos, se obtenga un número, que referido á la cantidad de combustible necesario para producir aquel calor, represente un mínimo, del que es indispensable para realizar el objeto deseado, por cuanto del combustible que se consuma ha de salir el calor perdido por las circunstancias mencionadas.

Verdadero servicio que presta el vapor de agua como motor.—Cuán fácilmente se comprende ahora el papel que desempeña el vapor. Trasmitido el rápido movimiento, ó sea calor que produce en el hogar la combustion química á las moléculas líquidas de agua, comunicándoles los dos movimientos, de separacion ó traslacion, el que produce el cambio de estado, y de rapidísima impulsión, el que ocasiona

la fuerza elástica, ésta se aplica al objeto que se pretende mover para dar origen al trabajo mecánico. Es decir, que el movimiento molecular invisible producido en el hogar es trasladado por la fuerza elástica del vapor al objeto á que ésta se aplica, para dar lugar al movimiento visible, que se traduce en trabajo industrial. Véase cómo queda definido el servicio que presta el vapor: intermediario de cooperación provechosísima, que si devuelve en buena parte el capital que en forma de incesante movimiento llevan sus moléculas, cobra su soldada en lo que cuesta el calor empleado en separar dichos elementos, para que adquiriera el agua el estado gaseoso, ó lo que es lo mismo, para adecuar las condiciones de su existencia al desarrollo de la provechosa misión que se le confía.

II.

Todo lo dicho nos permite formar idea aproximada de la naturaleza y manera de obra del agente productor del esfuerzo inanimado, que merced al ingenioso mecanismo de la locomotora, ha de vencer las resistencias que se presentan en la marcha de un tren. Antes, sin embargo, de pasar á describir este tan útil apar-

to, conviene que nos detengamos un momento, á fin de exponer el medio que se emplea para apreciar ó medir los poderosos brios de aquel agente, una vez que, segun hemos dicho, la fuerza de impulsión que en sus rápidos movimientos proporcionan las moléculas del vapor, es tanto más grande cuanto mayor sea el grado de temperatura que se desarrolla en el hogar. Esta fuerza constituye la llamada elástica del vapor, y al tratar de medirla, lo primero que debemos determinar es la unidad que sirve de término de comparacion, para apreciar sus diversos valores como elemento indispensable siempre que se pretende adquirir idea exacta de una cantidad.

Medida de la fuerza elástica del vapor de agua.—Pudiera objetarse, sin duda alguna, que tal determinacion no es necesaria, por cuanto en uno de los artículos anteriores se ha convenido en aceptar como unidad para la medida de las fuerzas, la accion equivalente al peso de un kilogramo, y por lo tanto, á esta unidad debe referirse tambien la accion elástica del vapor, que en último resultado no es otra cosa que una fuerza. Tal observacion es en extremo pertinente, y en ella conviene fijarse, á fin de establecer el enlace debido entre las diversas apariencias que presentan los términos de com-

paración empleados para medir estos impalpables agentes llamados fuerzas.

La unidad que ahora se trata de definir no es de naturaleza distinta de los pesos; ántes, por el contrario, en su esencia no es otra cosa que una agrupación de kilogramos; del mismo modo que la unidad monetaria peseta no es más que la reunión de cuatro veces la unidad real, y la llamada tonelada de peso es la suma de mil unidades, ó sea mil kilogramos. Esto establecido, fácil nos será dar idea de la nueva unidad, y deducir su relación con la fundamental kilogramo, como también la razón que existe para adoptarla.

Barómetro.—El barómetro es aparato bastante conocido para que puedan entenderse las referencias que á él hagamos, y los sencillos razonamientos que nos han de permitir considerarle como una verdadera balanza adecuada para medir el peso de un cuerpo particular. Supongamos que se trata del barómetro más conocido, y que consiste en un tubo vertical, cerrado por la parte superior, y que por la inferior se encorva, presentando otra rama paralela á la primera y abierta, ó lo que es lo mismo, un tubo en forma de U, cuyos dos lados no son iguales, teniendo el mayor, que corresponde al extremo cerrado, una longitud poco diferente de

un metro. En su interior hay mercurio; y si se observa el aparato, podrá verse que el nivel de este líquido es distinto en ambas ramas del tubo, presentando la columna mayor, ó sea la de la extremidad cerrada, una altura de 76 centímetros (próximamente), contados á partir del nivel del líquido en la rama abierta. Si á la altura de este nivel suponemos trazado un plano horizontal, tendremos, que sobre él, en la rama más larga, insiste una columna de mercurio, cuya base es la seccion del tubo (que podemos admitir que sea igual á un centímetro cuadrado), y en la rama más corta una columna de aire invisible, pero cuya existencia es real, que tendrá la misma base, porque suponemos que el tubo es de igual radio en sus dos ramas, y por altura la de la atmósfera que rodea el globo terrestre. Como en el momento de la observacion el líquido se mantiene en equilibrio, podemos deducir que ambas columnas representan los pesos colocados en los dos platillos de una balanza, cuando el fiel está en posicion central, ó lo que es lo mismo, cuando tales pesos son iguales. Es decir, que el peso de la columna de aire definida, ó la accion que la atmósfera ejerce sobre un centímetro cuadrado de extension, es igual al peso de una columna de mercurio de la misma base y de 76 centímetros

de altura (1). Esta acción es precisamente la nueva unidad que se inquiere, y que se designa de manera muy apropiada con el nombre de *atmósfera*. Su equivalencia con la unidad adoptada anteriormente para la medida de todas las fuerzas, es igual á 10 kilogramos y 336 milésimas de kilogramo, porque este es el peso de la columna de mercurio, de un centímetro cuadrado de base y de 76 centímetros de altura.

Expuesto el primer punto que nos proponíamos definir, falta tan sólo indicar cómo puede aplicarse esta unidad en la apreciación de las diversas intensidades de la fuerza elástica del vapor.

Los gases transmiten presiones iguales en todos sentidos.—Con este fin, permítasenos, ya que la índole del presente trabajo no consiente otra cosa, indicar por medio de una experiencia la propiedad que tienen los gases de transmitir su fuerza elástica en todos sentidos, con igual intensidad por unidad de superficie. Supóngase que hemos cortado la rama más larga del barómetro ántes descrito, por el plano horizontal

(1) Debe advertirse que por cima de esta columna y hasta el extremo cerrado no existe cantidad alguna de aire. Tal espacio, llamado cámara barométrica, está vacío.

trazado á la altura del nivel del líquido en la más corta; y que temerosos de que al practicar realmente este córte del tubo se vertiera el mercurio en él contenido, ó sea la columna de 76 centímetros de altura, cerramos el tubo con una lámina de un cuerpo muy ligero, tan ligero, que para obtener de la experiencia el resultado apetecido, es preciso que le imaginemos sin peso alguno. Admitido esto, se puede impunemente separar la mano de dicha lámina sin que sea ésta arrastrada por el peso del mercurio contenido en el tubo, y que permanecerá en equilibrio lo mismo que ántes de cortarse, lo cual nos demuestra que contra la superficie inferior de la lámina y en sentido opuesto al peso del líquido, se ejerce una fuerza exactamente igual á este peso que contraresta su acción, y que es también idéntica á la ejercida de arriba abajo por la columna de aire en el caso primeramente examinado, por cuanto ésta equilibraba el mismo peso.

Tal propiedad del aire, consistente en transmitir sus presiones con la misma intensidad en todos sentidos, la tiene igualmente el vapor de agua, sea la que quiera la temperatura á que se encuentre, ó lo que es lo mismo, para todos los valores que puede adquirir su fuerza elástica. En cierto modo es dado decir que lo que

se llama peso del aire no es otra cosa que la presión de este cuerpo gaseoso apreciada en un punto determinado de la tierra, y en el sentido en que se aprecian las fuerzas llamadas pesos, es decir, verticalmente y en la dirección de arriba abajo. En virtud de estas consideraciones, debe deducirse que el barómetro mide la presión ó la fuerza elástica del aire; y que siendo el aire y el vapor de agua cuerpos análogos en lo que se refiere á su constitución mecánica, podrá el barómetro servirnos también para medir la fuerza elástica del último citado cuerpo. Cuando ésta, suponiéndola aplicada sobre la superficie libre del líquido de un barómetro, sea doble de la del aire, en las condiciones á que corresponde para la medida de éste, la altura de 76 centímetros, esta se duplicará; si fuese triple, ésta será también tres veces mayor, y así sucesivamente. Y como cada magnitud de 76 centímetros en la altura barométrica equivale á la unidad llamada atmósfera, con toda propiedad podemos decir, que la fuerza elástica del vapor, la impulsión ó la presión con que tiende á vencer las resistencias exteriores, será de dos atmósferas, de tres atmósferas, etc., según sea el número de veces que 76 centímetros esté contenido en la columna de mercurio equilibrada

por el vapor que obra en la superficie libre del líquido que le forma.

Por otra parte, como sabemos que cada atmósfera equivale á $10,^{kg} 336$, multiplicando por éste el número de atmósferas que representa la fuerza elástica, tendremos reducida la cantidad de su acción á la unidad fundamental de las fuerzas, ó sea al kilogramo. Bien entendido que esta acción corresponde á la superficie adoptada para sección del tubo del barómetro, ó lo que es lo mismo, al centímetro cuadrado; y por lo tanto, si tenemos una masa de vapor obrando contra la cubierta de nuestra vasija, cuya extensión superficial suponemos de 20 centímetros cuadrados, con una presión de dos atmósferas, la acción ejercida sobre cada centímetro cuadrado de la cubierta será igual al valor de dos atmósferas en kilogramos, ó sea, el producto de $10,^{kg} 336$ por dos, y para tener el total ejercido sobre toda la cubierta habrá que repetir 20 veces este producto, merced á cuya operación se obtiene para esfuerzo ocasionado por el vapor $413,14$ kilogramos.

Manómetros.—Fácilmente se comprende, después de lo expuesto, cómo puede adquirirse idea exacta del efecto que producirá la fuerza elástica del vapor de agua encerrado en una vasija resistente y sometido á una elevada tem-

peratura. Lo que se necesita conocer es el número de atmósferas que representa su presión. Tal conocimiento sería dado adquirirlo colocando, como se ha dicho, en comunicacion con la vasija ó recipiente, el tubo de un barómetro; pero como las indicaciones de éste exigen una gran longitud de tubo desde el momento que la fuerza elástica adquiere el valor de varias atmósferas, se comprende tambien cuán difícil sería su instalacion en cualquier artefacto. Este es el motivo de que no se emplee dicho aparato, y sí otros que, fundados en varias leyes físicas, sirven para medir tales cantidades de acción. Conocida la unidad adoptada y la manera de reducirla á la fundamental kilogramo, no es pertinente que nos detengamos en describir los aparatos á que se alude, y que reciben el nombre de manómetros. Basta saber que existen, y que por medio de ellos se pueden apreciar los poderosos bríos que comunica al vapor de agua el agente calor, para constituir la fuerza motriz empleada en el desarrollo de las industrias del siglo en que vivimos.

Condensacion del vapor de agua.—Réstanos tan sólo, para terminar lo que nos proponíamos decir acerca de la naturaleza y del modo de obrar del esfuerzo motor, examinar el fenómeno que se verifica cuando por cualquiera causa

tienda á desaparecer el movimiento que anima-
ba las moléculas del agua en vapor, y muy prin-
cipalmente cuando desaparece el foco calorí-
fico que le producía. Ya implícitamente se deja
consignado en uno de los párrafos precedentes.
Animadas dichas moléculas de la impulsión de-
bida á la acción del calor, á las partículas de
los cuerpos que les rodean, transmiten sus verti-
ginosos movimientos, originando otros en di-
chas partículas, que se patentizan por la sensa-
ción de calor que producen en nuestro organismo;
y el resultado que se obtiene además de esta ele-
vación de temperatura en los cuerpos próximos,
es el enfriamiento del vapor, ocasionado por la
pérdida del movimiento comunicado por sus
moléculas, las cuales, privadas por este efecto
de las condiciones merced á las que se encon-
traban en el estado gaseoso, tienden á pasar al
primitivo de líquido. Como en aquél se halla-
ban á mayores distancias unas de otras que las
que en éste les separan, tienen que recorrer un
camino en sentido contrario del que recorrían
en el fenómeno de la vaporización, y originarán
un trabajo que estaría representado elemental-
mente, por el producto de la distancia recorri-
da, si esta pudiera medirse, por la fuerza que
determina su aproximación, y que es igual á la
que obró su separación, y en ellas quedó con-

centrada, del mismo modo que queda almacenada en los cuerpos que se levantan de la superficie de la tierra la energía potencial, capaz de hacerlos descender en el momento que se sueltan, y que es idéntica á la acción mecánica desarrollada para levantarlos. El choque de las moléculas en el paso del estado de vapor al de líquido, hasta colocarse en las posiciones relativas que á éste corresponde, equivale á la anulación aparente de aquel trabajo, que en realidad se trasforma en la vibración ó giro rapidísimo de las moléculas de los cuerpos que rodean al vapor en el momento de convertirse éste en agua. Si hacemos, por lo tanto, que el vapor producido en nuestra vasija llegue á otra que contenga agua fría, en la masa de ésta se verificarán los fenómenos reseñados: el vapor pasará al estado líquido, y el agua fría adquirirá un grado de temperatura que, dada la que tuviera á la llegada de aquel cuerpo y sus especiales condiciones para calentarse, representará la que corresponde al número de unidades de calor que fué preciso gastar para convertir al estado gaseoso el líquido que llega en forma de vapor al agua fría.

Tal es una de las partes del calor que el combustible produce y que no se aprovecha en desarrollar trabajo mecánico aparente, habien-

do sido empleada únicamente en dotar á las moléculas de agua de las condiciones necesarias, en lo que atañe á sus posiciones relativas, para realizar dicho trabajo.

III.

Dos palabras tan sólo serán suficientes, después de lo que precede, para formar idea exacta de la acción del vapor como fuerza motriz.

Disposicion general del aparato empleado para aprovechar la fuerza elástica del vapor de agua como motor.—Supongamos que la vasija de nuestra experiencia es cilíndrica, pero sin contener agua, y que perfectamente adaptado á la superficie interior de la misma, se puede hacer mover de un extremo á otro un émbolo ó piston. Supondremos tambien que la vasija está cerrada por sus dos extremos, no por cubiertas móviles, sino por medio de piezas resistentes, lo mismo que la pared cilíndrica, á la que se hallan unidas fuertemente; y que tanto en una como en otra cubierta hay dos orificios con sus llaves que permiten establecer é interrumpir la comunicacion con dos depósitos: uno cerrado, que contiene el vapor con la fuerza elástica conveniente, y el otro abierto, en el que se dispone

agua fría, que se renueva sin cesar. Imaginaremos, por último, colocado el émbolo ó piston en contacto con una de las cubiertas, y que ésta sea la del lado derecho, para lo cual hemos de suponer que la vasija cilíndrica se halla en situación horizontal. En esta disposición el aparato, abramos la llave de la cubierta de la izquierda, que comunica con el depósito de agua fría, y al mismo tiempo también la llave de la cubierta de la derecha, que establece la comunicación con el depósito de vapor. Si la fuerza elástica de éste es igual á tres atmósferas, por ejemplo, veamos qué fenómeno debe realizarse en el aparato. En la cara izquierda del émbolo hay aire ejerciendo, en lo que se refiere á dicho émbolo, una presión de izquierda á derecha, cuyo valor es de una atmósfera; y en la cara izquierda, actúa en sentido contrario la presión de tres atmósferas, que representa la fuerza elástica del vapor á su llegada por el conducto cuya llave se ha abierto. El resultado evidentemente (prescindiendo de los rozamientos), será que el émbolo se mueva de derecha á izquierda por el exceso de presión igual á dos atmósferas, expulsando el aire que está detrás de él, y que encontrando un escape libre, cual es el conducto que comunica con el depósito de agua fría, por él se lanzará, llegando á ésta y dejan-

do libre el camino al émbolo, que podrá colocarse de este modo en contacto con la cubierta de la izquierda. Cuando esto se haya conseguido, se cerrarán las dos llaves que se encontraban abiertas, y se abrirán las que habían quedado cerradas. A la cara de la izquierda del émbolo puede llegar ahora el vapor del depósito; y todo el que llenaba la capacidad de la derecha se encuentra en comunicacion con el agua fria. Fácil es prever el fenómeno que tendrá lugar. Este vapor que ha perdido gran parte de su fuerza elástica en realizar el trabajo mecánico que entraña el movimiento del émbolo, y que no se encuentra en contacto con el hogar que pudiera dar á sus moléculas el calor ó movimiento que han perdido, se enfriará, é impulsado por la fuerza elástica que aún conserve, ocupará el espacio mayor, que le proporciona la comunicacion con el depósito de agua fria, y al llegar á ésta se condensará, ó lo que es lo mismo, pasará del estado gaseoso al líquido. El resultado, en último término, no será otro que una disminucion muy considerable del esfuerzo que despues de verificarse estos fenómenos ejercerá contra la cara de la derecha del émbolo, el vapor que se encuentre aún en el espacio de la vasija cilíndrica correspondiente al mismo lado; y en consecuencia, este esfuerzo tan re-

ducido será superado por el del vapor, á la tension de tres atmósferas, que obra en la cara opuesta del émbolo, del mismo modo que habia superado y vencido el del aire en el recorrido de derecha á izquierda. En sentido contrario, ó sea de izquierda á derecha, caminará ahora el émbolo, hasta colocarse en contacto con la cubierta de este lado de la vasija; y es fácil comprender que si se cambiase el juego de las llaves, podria reproducirse el movimiento del émbolo, y mantenerse el alternativo, que permite la disposicion del aparato durante todo el tiempo que se quiera.

Tal es el fundamento esencial de todas las máquinas llamadas de vapor, y por lo tanto de la locomotora. Realizado aquel movimiento alternativo del émbolo ó piston, fácilmente se comprende que en la misma forma es dado transmitirle á un objeto exterior para producir un trabajo mecánico cualquiera. Si en el centro del émbolo fijamos una varilla en posicion perpendicular á sus caras, y perforamos la cubierta del lado izquierdo de la vasija, abriendo un orificio que permita el paso de aquélla, pero sin que deje salida alguna al vapor que funciona en el interior, el extremo exterior de tal varilla verificará exactamente el mismo movimiento que el piston á que está unida. Enlace.

mos ahora mentalmente aquel extremo de la varilla con una manivela ó manubrio montado sobre el eje de un par de ruedas; guiando la varilla convenientemente, conseguiremos que su movimiento alternativo se convierta en circular y se patentice en el giro del eje y ruedas á que se aplica, de igual modo que en un torno, el movimiento alternativo de un pedal, se transforma en el rápido giro de la pieza que se quiere labrar.

Habiendo llegado á conseguir el movimiento de giro de un par de ruedas, como resultado de la hipotética trasformacion de las invisibles vibraciones producidas en el hogar por la accion química, merced á la evaporacion del vapor de agua que las conduce en su fuerza elástica, estamos en el caso de dar á conocer la disposicion general y los elementos esenciales del ingenioso aparato, ó sea la locomotora, en cuyo seno se verifican aquellas trasformaciones cuando se trata de aplicarlas al transporte.

ARTÍCULO V.

Locomotora.

Division fundamental del aparato.—Las ligeras nociones consignadas en el artículo ante-

rior permiten comprender desde luego cuáles son las partes esenciales del mecanismo que sirve para producir y utilizar debidamente el esfuerzo motor empleado en los ferro-carriles. El fundamento esencial de todo el aparato puede formularse diciendo, «que es la transformación del agente calor en trabajo industrial por el intermedio del vapor de agua; y en consecuencia, será preciso que la locomotora ofrezca una parte destinada á la producción del calor; otra donde el agua en estado líquido pueda ser convertida por aquel agente en el intermediario del movimiento; y por último, un mecanismo adecuado por la transformación de el movimiento, de las moléculas del vapor en el que ha de dar origen al trabajo industrial.

Estas tres partes esenciales se encuentran en la locomotora, y reciben los nombres de caja de fuego ú hogar, caldera y aparato de distribución del vapor.

Caja de fuego ú hogar.—El hogar se halla colocado en el extremo posterior de la locomotora, y le constituye una gran caja rectangular, de hierro, cuyas paredes laterales son dobles, es decir, que están formadas por dos gruesas placas de aquel metal convenientemente enlazadas y reforzadas, pero que dejan entre sí un espacio libre. El fondo de dicha caja no está

cerrado por una placa de hierro, sino por varias barras colocadas de canto y poco separadas, constituyendo la rejilla, sobre la cual se pone el combustible, que al arder produce el germen del movimiento. Por bajo de dicha rejilla se encuentra un cajon de palastro abierto por su parte anterior y que sirve de cenicero. Para poder introducir el combustible en el hogar, se deja en la pared posterior de éste una abertura que se cierra por una puertecilla al alcance del maquinista, una vez que dicha pared termina la locomotora, y de ella arranca la placa horizontal ó plataforma donde aquél se sitúa. Fácil es por lo tanto, al maquinista arrojar en el hogar el combustible necesario, que como todos saben se conduce, lo mismo que el agua, en un vehículo llamado ténder, y que sigue inmediatamente á la locomotora, hallándose con ésta en comunicacion debidamente establecida.

Caldera.—El gran cuerpo cilíndrico que realmente caracteriza la locomotora y que ocupa la mayor parte de su longitud, es la segunda de las partes esenciales: la caldera se halla adosada á la pared anterior del hogar, de modo, que la línea inferior del cilindro queda próximamente á la mitad de la altura de dicha pared; y la superior prolongada por cima de la caja del hogar; desempeña en realidad el papel de

un segundo techo para ésta, y termina en la placa exterior de las dos que forman la pared posterior de dicha caja.

El espacio libre que se deja entre las dos placas que forman las paredes laterales del hogar, se encuentra en comunicacion con el gran cilindro de la caldera; por lo tanto, si en esta echamos agua hasta cierta altura, el líquido se colocará en la capacidad que se le ofrece, y quedará, rodeando el hogar, la parte que ocupe el espacio comprendido entre las dos placas que forman las mencionadas paredes laterales. De este modo se concibe que el agua estará en contacto con el hogar donde arde el combustible, por un número de puntos relativamente pequeño, si se compara la superficie de las paredes de la caja de aquél en que tiene lugar dicho contacto, con la total que presenta el cilindro de la caldera, llena tambien de agua, y por bajo de la cual no existe fuego; una vez que éste se halla exclusivamente en el extremo posterior de la locomotora, como hemos dicho ántes, y como puede apreciar cualquier persona observando una máquina de esta clase ántes de la partida de un tren en la estacion.

Dicha superficie de contacto, con la caja de fuego, no tendrá más extension que la suma de las áreas ó superficies de las paredes laterales y

del techo de aquella caja, por cuanto suponemos que se ha puesto en la caldera agua en la suficiente cantidad para que rebase la lámina metálica que forma dicha cubierta, cerrando el hogar por su parte superior. En la superficie de contacto se verifica la trasmision del calor del hogar al agua, y cuando ésta alcance el conveniente grado de temperatura, se trasformará en vapor. Fácil es comprender, despues de esto, por qué se llama aquélla «superficie de calefaccion,» como tambien que cuanto más grande sea esta superficie, mayor será la cantidad de vapor que se produzca en un tiempo dado. Más adelante veremos cuán importante es conseguir tal resultado en grande escala: basta por el pronto saber que esto es preciso, para poder dar cuenta racional de la disposicion del aparato.

Aceptada la forma cilíndrica de la caldera, parecia natural que pudiera aumentarse la superficie de calefaccion, disponiendo el hogar en la parte exterior de aquélla y dirigiendo los gases de la combustion en toda la longitud de la misma. De este modo se establecen ambos aparatos en las máquinas fijas; pero por poco que se reflexione, se comprenderá que ni tal disposicion es aceptable para un aparato en movimiento, ni con ella se conseguiria tampoco au-

mentar la superficie de calefaccion en la escala que se necesita para la traccion en los caminos de hierro. Veamos, por lo tanto, cómo se resuelve la dificultad.

Las dos partes que se han descrito están cerradas, sin presentar más aberturas que la ventanilla del hogar para la introduccion del combustible y el orificio por donde se echa el agua en la caldera. En tales condiciones no se concibe que pueda sostenerse la combustion en el hogar, pues para que esto se verifique, forzoso es que se renueve el aire en contacto con el carbon, leña ó hulla que en aquél se queme. Esta oportuna observacion, que naturalmente se deduce de lo dicho en el artículo anterior, nos va á permitir formar idea de la ingeniosa disposicion ideada por Marcos Seguin, para la locomotora.

El calor, decíamos, que es el fenómeno que se produce por la caida de los átomos de oxígeno del aire sobre el combustible, merced á la afinidad de aquel cuerpo por los elementos simples que integran éste, para constituir los productos gaseosos que se desprenden de toda combustion. Es evidente que si no se renueva el aire que estubiere contenido en la capacidad del hogar, cuando se haya consumido en la formacion de dichos productos todo el oxígeno

que existiera en dicha masa de aire, dejará de verificarse el fenómeno que se manifiesta de manera sensible por la sensación del calor; y no podrá conseguirse la vaporización del agua contenida en la caldera, por lo cual, dicho está que la máquina no podrá funcionar. Para acudir á esta necesidad bastaría poner el hogar en comunicación con una chimenea, por la que ascenderían los ligeros productos de la combustión, originando un vacío en la caja de fuego que sería rápidamente ocupado por el aire que penetraría en aquélla, atravesando la rejilla de barras de hierro que forma su fondo, y el combustible colocado sobre la misma.

Ahora bien, ¿dónde se establece la chimenea? Todo el mundo lo sabe; en la parte anterior de la locomotora. Para enlazarla con la capacidad del hogar, lo lógico es disponer un tubo que las comuniqué; y después de lo dicho, naturalmente se ocurre que su mejor emplazamiento se encontrará dentro de la caldera cilíndrica, y atravesando la masa de agua en ésta contenida, porque de tal modo se aprovechará el calor de los gases de la combustión que han de recorrer el tubo, en elevar la temperatura del agua que le rodea, concurriendo de este modo á su más rápida vaporización.

Hé aquí como á la vez que se ha satisfecho

la imperiosa necesidad de la renovacion del aire en el hogar se ha conseguido aumentar la superficie de calefaccion en todo lo que vale la superficie del cilindro, que constituye el tubo. Para disponer éste, no habria más que perforar la pared anterior del hogar, abriendo en ella un orificio de igual diámetro que el tubo: colocar éste á lo largo del cilindro de la caldera, y asegurar el otro extremo en la placa que limita aquel cilindro en la parte anterior de la locomotora, que se habrá perforado de la misma manera. Sin duda alguna se podria adaptar á este orificio otro tubo encorvado en ángulo recto, que con el anterior enchufase en su extremo por una de sus ramas, y se elevára verticalmente la otra, formando la chimenea; sin embargo, no es ésta la disposicion que presentan las máquinas actuales.

Caja de humos.—El extremo del tubo que ha de establecer la comunicacion entre el hogar y la chimenea desemboca en una caja colocada á la cabeza de la locomotora, caja cuya forma es la que presenta esta máquina vista de frente, y que está adosada á la pared anterior de la caldera, de modo, que dicha pared, por la que sale aquel tubo, es comun á ambas capacidades. Unido al techo de esta caja, que se llama de humos, y comunicando con ella, merced á la

correspondiente abertura, se alza majestuoso el tubo de la chimenea.

Resulta, por lo tanto, que la locomotora en realidad, puede en sus ejes definirse como formada por dos cajas metálicas, una de ellas, la que se ha descrito últimamente, puesta en comunicacion con la atmósfera mediante el tubo de la chimenea que está en su parte superior; y la otra, ó sea el hogar, puesta tambien en comunicacion con la atmósfera, pero por su parte inferior, merced á la rejilla que forma su fondo: ambas unidas por el gran cilindro de la caldera que las enlaza, formando el cuerpo central del aparato, y puestas en comunicacion á su vez por el tubo longitudinal, que tiene uno de sus extremos abiertos, empotrado en la pared anterior del hogar y posterior de la caldera, y el otro en la posterior de la caja que sostiene la chimenea. El aire puede circular libremente, desde el exterior á el hogar por los intersticios de la rejilla de su fondo: del hogar á la caja de humos, por el tubo que las comunica, atravesando el agua de la caldera, y de aquella caja á la atmósfera, por la chimenea. El mismo camino recorrerán los gases productos de la combustion en el hogar, que despues de haber-cooperado á la vaporizacion del agua, llegarán para salir por la chimenea, á la caja anterior, llama-

da por este motivo con toda propiedad *caja de humos*.

Indicada en esencia la disposicion que permite aumentar la superficie de calefaccion, ocurre que este aumento podrá adquirir un valor doble, si en vez de un sólo tubo colocamos dos de igual diámetro, triple si es posible colocar tres, y así sucesivamente. Tal es la disposicion de la caldera tubular. El tubo que nos ha servido para la explicacion del conjunto del mecanismo y sus funciones, se sustituye en las locomotoras por un gran número de tubos de excelente laton laminado, cuyos radios exteriores varían entre cuatro y cinco centímetros, y que desempeñan el mismo papel y se encuentran colocados de idéntico modo que el primitivo y único que se supuso para la explicacion. El número de dichos tubos se halla comprendido entre 100 y 300, segun la clase de máquina que se considere. Fácil es apreciar despues de lo dicho, que las placas extremas de la caldera, ó sea las paredes anterior de la caja de fuego ú hogar, y posterior de la caja de humos, presentarán el aspecto de cribas, en cuyos agujeros se adaptan los numerosos tubos de que se trata, y que las ponen en comunicacion conduciendo á traves del agua, que á su paso calientan, los gases producidos por el combustible al arder.

Para que se forme idea del considerable aumento de superficie de calefaccion que se obtiene con la caldera tubular, basta decir que existen máquinas poderosas en las que dicha superficie mide 196 metros cuadrados. En la locomotora del sistema Crampton, para trenes de gran velocidad, la superficie total del cilindro de la caldera es de 13 metros cuadrados, y la suma de las superficies de todos los tubos interiores pasa de 93 metros cuadrados. Véase, en consecuencia, con cuánta razon decíamos anteriormente que sería muy pequeño el aumento que pudiera conseguirse en la superficie de calefaccion, aún suponiendo que se aprovechara como tal toda la de la caldera, con relacion al que permite adquirir la disposicion tubular, y que es indispensable para alcanzar con la locomotora el resultado apetecido.

Bastidor.—Todo el mundo sabe que el gran conjunto que constituyen los aparatos ántes descritos se halla montado sobre un bastidor resistente y sostenido por un cierto número de ruedas que varía lo mismo que el diámetro de éstas, con el servicio á que la máquina se destina. Prescindiendo por el momento de estas diferencias, como tambien de la causa que determina el avance de la locomotora sobre los carriles, porque de unas y otra hemos de ocu-

parnos más adelante, nos concretaremos en el presente artículo á indicar de análoga manera á lo que se ha dicho respecto á las otras dos partes esenciales, cómo se establece el enlace material de éstas con la que afecta al empleo del vapor.

Trasmision del movimiento de los émbolos.—

Cualquiera persona que haya fijado un poco su atencion al contemplar la locomotora, se dará cuenta fácilmente del sitio que ocupa el aparato de distribución del vapor. En la parte anterior de aquélla, á uno y otro lado de la caja que hemos llamado *de humos*, se ven dos cilindros de hierro, colocados en posición horizontal ó ligeramente inclinados, de cada uno de los cuales y atravesando su cubierta, del lado posterior sale una varilla cuyo movimiento en la marcha del tren es alternativo y se trasmite á otra barra con aquella articulada, y que termina en el boton de una manivela montada en cada uno de los extremos del eje de un par de ruedas. En este mecanismo, visible en la mayor parte de las locomotoras, porque como hemos supuesto se encuentran los cilindros en los costados de la caja de humos, se reconoce el aparato de que nos hemos valido en el artículo anterior para explicar la trasformacion del agente calor en trabajo industrial. Entendido lo que

en aquel punto dijimos, nada hay que añadir en cuanto atañe al principio fundamental. En tónces, sin embargo, prescindíamos de cómo se hacía llegar el vapor á los tubos que terminaban en una y otra de las cubiertas extremas de los cilindros; y en cuanto al juego del aparato, nos bastaba para la explicacion suponer que nosotros mismos maniobrábamos las llaves que permitian establecer ó interrumpir el paso del vapor por aquellos tubos, ya fuera para que entrase en uno de los lados del cilindro é hiciese avanzar el émbolo que lleva la varilla, ó ya para que saliera de dicha capacidad y se invirtiese el movimiento de la misma pieza. Por poco que se reflexione, debe sospecharse que no será posible abrir y cerrar de aquel modo las entradas y salidas del vapor en la máquina locomotora; y sólo con fijarse en que ésta marcha sin que el maquinista, una vez puesta en movimiento, ejecute maniobra alguna, se deduce fácilmente que la continua exigida por aquella elemental manera de distribuir el vapor (aceptable sólo para la explicacion) se verifica por la misma máquina.

Ademas de la última citada observacion, podría hacerse otra en la locomotora parada, examinándola sucesivamente por sus dos lados. Si tal exámen se practicára, prescindiendo de to-

das las piezas del mecanismo, para fijarse tan sólo en las dos manivelas colocadas á los extremos del eje del par de ruedas que ha de girar por la acción del vapor, se vería, que si la del lado izquierdo se encuentra en posición horizontal, la del lado derecho está vertical; es decir, que siendo las dos paralelas al plano de las ruedas, no son paralelas entre sí, sino que se hallan en posiciones perpendiculares. En cualquier momento en que se considere la máquina, dichas piezas que van invariablemente unidas al eje, conservarán tales posiciones relativas. Éstas tienen su razón de ser, y es imprescindible adoptarlas para el expedito servicio de la locomotora.

Con objeto de comprender esto, sigamos con la imaginación los movimientos alternativos de la varilla que hace girar la manivela de un lado. Cuando el émbolo se encuentre en el extremo anterior del cilindro, aquella barra de transmisión habrá colocado el botón de la manivela lo más próximo posible al cilindro en que se mueve el émbolo; y es evidente que describiendo dicho botón en su movimiento una circunferencia, en el caso que se examina se encontrará en el extremo anterior del diámetro horizontal de aquélla. Para que esto se comprenda mejor, conviene decir que la carrera del émbolo, ó sea

el camino que recorre en el cilindro cuando va de un extremo á otro, del mismo, es igual al diámetro de la circunferencia que en su movimiento describe el boton de la manivela. De este modo es posible el juego completo del mecanismo que se estudia. Cuando el émbolo está en el extremo anterior del cilindro, el boton de la manivela se halla en la posicion ántes indicada, es decir, en el extremo del mismo lado del citado diámetro; y cuando el émbolo pasa al extremo posterior del cilindro, el boton pasa á su vez al extremo posterior del diámetro horizontal, es decir, se encuentra en la posicion más separada de todas las que puede ocupar con relacion al cilindro, donde el émbolo se mueve.

Entre estas dos posiciones extremas del boton, una, la más próxima, y otra, la más distante de dicho cilindro, se encuentran las correspondientes á los diversos puntos de la circunferencia descrita por aquél, y de la cual sólo se ve materialmente el radio, que es la pieza manivela. En las posiciones extrémás ésta será horizontal, porque estando en ellas el boton en coincidencia con los extremos del diámetro horizontal, con éste se confundirá la posicion de la manivela; y análoga á ésta, es decir, horizontal también, será la que ocupe la varilla que en-

laza el boton con el vástago del émbolo, si se supone que dicho vástago, ó lo que es lo mismo, el eje del cilindro, se halla con relacion al carril (1) á igual altura que el eje de las ruedas á que se trasmite el movimiento. En efecto, la varilla de que se trata se enlaza por un extremo al vástago del émbolo y por el otro al boton de la manivela: como aquel vástago está siempre horizontal en su movimiento alternativo, todos sus puntos se hallarán siempre á la misma altura que el eje de las ruedas, y por lo tanto el extremo de la varilla que á él se une: ahora bien, en las posiciones extremas que se examinan, el boton de la manivela se halla en los extremos del diámetro horizontal de la circunferencia que describe, y en consecuencia estará á la misma altura que el eje de las ruedas, y con él, el otro extremo de la varilla, la cual de este modo tendrá dos de sus puntos en la horizontal que pasa por dicho eje, y con esta línea coincidirá en toda su longitud. En todas las demas posiciones, la varilla de enlace se presentará inclinada, porque como el extremo de la misma que se une al vástago del émbolo no se separa de la horizontal que éste describe

(1) Suponiendo que éste ocupe la posicion horizontal.

en su movimiento alternativo, y el botón de la manivela va ocupando los diversos puntos de la circunferencia, que excepto los dos de las posiciones extremas están más altos ó más bajos que dicha horizontal, la varilla que en todos los momentos enlaza el extremo del vástago (siempre á la misma altura) con el boton que se halla á otras diferentes, forzosamente tiene que presentarse inclinada.

Hé aquí porqué decíamos en el artículo anterior que era preciso guiar convenientemente el vástago del émbolo; no se comprenderia de otro modo la regularidad en la trasmision del movimiento; y tampoco será difícil comprender que para que ésta se realice es indispensable que las uniones de la varilla con el vástago y con el boton no sean rígidas; porque si esto sucediera, no sería dado conseguir que aquélla tomase todas las inclinaciones que corresponden á las diversas posiciones de la manivela en su movimiento circular.

Efectos producidos por las manivelas colocadas en ángulos rectos en los extremos del eje de las ruedas motrices.—Expuesta la parte esencial de este mecanismo de trasmision, podremos apreciar en su verdadero valor las ventajas que ofrece la posicion relativa á las manivelas colocadas en el extremo del eje de un par,

completamente de agua; si tal precaucion dejase de tomarse, no tendríamos un espacio para almacenar el vapor en buenas condiciones, como el que ofrece la parte de dicho aparato, que se deja sin líquido, y en la que se mantiene el vapor á la presion que corresponde para el trabajo que se desea realizar. En toda la longitud de esta parte que no tiene líquido se coloca un tubo de metal agujereado, en el cual penetra el vapor, y que se bifurca en dos, que han de conducir éste á los cilindros de los émbolos. Como aquél está en el interior de la caldera y estos cilindros se hallan en el exterior, los dos tubos en que se divide el primero perforan las paredes de la caldera, y por la parte exterior de ésta descenden adaptados á su superficie para llegar á los cilindros, en los que ha de funcionar el vapor.

Sin posterior estudio, podria creerse, con arreglo á lo expuesto anteriormente, que cada uno de estos tubos se bifurca á su vez al llegar á su correspondiente cilindro, pasando una de las ramas á la cubierta anterior y otra á la posterior, á fin de procurar la llegada alternativa del vapor á uno y otro lado del émbolo. Si así se procediera, sería indispensable el empleo de las llaves para abrir y cerrar las comunicaciones, y esto es precisamente lo que se trata de

evitar y se evita por medio del aparato de distribución colocado entre el extremo de cada tubo y el cilindro correspondiente, y que no es otra cosa que una mano automática de que se ha provisto á la locomotora para realizar aquel servicio con la regularidad y precisión que caracterizan todas sus funciones.

Caja de distribución y corredera.—Imaginemos el cilindro que contiene el émbolo, y supongamos que se cepilla en su exterior una faceta plana á todo lo largo del mismo, con lo cual obtendremos una zona plana, análoga á las que se disponen en el tercio inferior de algunas columnas. Siendo el cilindro hueco, al verificar dicha labra habremos reducido evidentemente su espesor en esta parte, lo cual, no sólo será inconveniente, porque tal vez no quede el grueso necesario para resistir á la presión del vapor que ha de actuar en su interior, sino también porque precisamente en todo el ancho de la zona plana que hemos labrado por el exterior necesitamos disponer de un espesor más grande que el indispensable para resistir á dicha presión. Para evitar estos inconvenientes, bastará tomar un cilindro cuyas paredes presenten un grueso tal, que después de labrada la faceta nos resulte el que se necesita en esta parte; y como evidentemente será excesivo en el resto del cilin-

completamente de agua; si tal precaucion dejase de tomarse, no tendríamos un espacio para almacenar el vapor en buenas condiciones, como el que ofrece la parte de dicho aparato, que se deja sin líquido, y en la que se mantiene el vapor á la presion que corresponde para el trabajo que se desea realizar. En toda la longitud de esta parte que no tiene líquido se coloca un tubo de metal agujereado, en el cual penetra el vapor, y que se bifurca en dos, que han de conducir éste á los cilindros de los émbolos. Como aquél está en el interior de la caldera y estos cilindros se hallan en el exterior, los dos tubos en que se divide el primero perforan las paredes de la caldera, y por la parte exterior de ésta descenden adaptados á su superficie para llegar á los cilindros, en los que ha de funcionar el vapor.

Sin posterior estudio, podria creerse, con arreglo á lo expuesto anteriormente, que cada uno de estos tubos se bifurca á su vez al llegar á su correspondiente cilindro, pasando una de las ramas á la cubierta anterior y otra á la posterior, á fin de procurar la llegada alternativa del vapor á uno y otro lado del émbolo. Si así se procediera, sería indispensable el empleo de las llaves para abrir y cerrar las comunicaciones, y esto es precisamente lo que se trata de

evitar y se evita por medio del aparato de distribución colocado entre el extremo de cada tubo y el cilindro correspondiente, y que no es otra cosa que una mano automática de que se ha provisto á la locomotora para realizar aquel servicio con la regularidad y precisión que caracterizan todas sus funciones.

Caja de distribución y corredera.—Imaginemos el cilindro que contiene el émbolo, y supongamos que se cepilla en su exterior una faceta plana á todo lo largo del mismo, con lo cual obtendremos una zona plana, análoga á las que se disponen en el tercio inferior de algunas columnas. Siendo el cilindro hueco, al verificar dicha labra habremos reducido evidentemente su espesor en esta parte, lo cual, no sólo será inconveniente, porque tal vez no quede el grueso necesario para resistir á la presión del vapor que ha de actuar en su interior, sino también porque precisamente en todo el ancho de la zona plana que hemos labrado por el exterior necesitamos disponer de un espesor más grande que el indispensable para resistir á dicha presión. Para evitar estos inconvenientes, bastará tomar un cilindro cuyas paredes presenten un grueso tal, que después de labrada la faceta nos resulte el que se necesita en esta parte; y como evidentemente será excesivo en el resto del cilin-

dro, podremos reducirle rebajándole por el exterior cuanto sea conveniente para que se aligere su peso en todo el material inútil para la resistencia.

De este modo conseguiremos tener un cilindro con una faceta plana saliente en un trozo de su superficie exterior, puesto que el espesor en esta parte hemos dicho que se necesita sea mayor que en todas las demas. En el punto medio de esta faceta plana tracemos un círculo cuyo diámetro sea próximamente igual á la novena ó décima parte de la longitud de aquélla, que es la del cilindro; y á uno y otro lado, en sentido de dicha longitud, marquemos otros dos círculos, de diámetro mitad que el anterior y que disten de éste magnitudes un poco menores que dicha mitad. Estos tres círculos colocados en línea recta van á ser las bocas de otros tantos conductos que se labrarán en el espesor de la faceta saliente, razon por la cual necesitábamos que tuviese el mayor grueso que se le ha dado. Los círculos extremos van á ser las bocas de los conductos ó tubos por donde ha de llegar el vapor á los extremos del cilindro, y en consecuencia, es forzoso que perforen el espesor de la faceta en sentido de su longitud. Se comprende que no pueden ser rectos, sino compuestos de tres trozos rectos: uno perpendicular á la face-

ta hasta llegar al medio de su espesor, donde cambiará la dirección para taladrar éste hasta llegar á su vez al extremo del cilindro, en cuyo punto se quebrará nuevamente para presentar su abertura en el interior del mismo. Dichos recodos ó ángulos no hay para qué consignar que deben dejarse redondeados. En cuanto al círculo central, no marca otra cosa que la boca del tubo por donde ha de salir el vapor despues de haber obrado sobre el émbolo: lo mismo que los anteriores perfora el espesor de la faceta plana, solo que la dirección de este conducto es trasversal, es decir, perpendicular á la de los anteriores: como éstos descende perpendicularmente á la superficie de la faceta, y al llegar al punto conveniente del espesor de la misma cambia su dirección en sentido trasversal y desemboca en el resalto que presenta lateralmente la faceta con relacion al resto de la superficie exterior del cilindro. Si á esta boca de salida adaptamos un tubo, podremos conducir el vapor al punto que juzguemos conveniente.

La primera duda que puede asaltar como consecuencia inmediata de lo dicho, consiste en que no se comprenda cómo por el último conducto puede salir el vapor de uno y otro lado del cilindro, cuando no tiene comunicacion con su interior; aparte de que estando co-

locado en medio de la faceta no se vislumbra la posibilidad de relacionar dicho conducto con los dos extremos del cilindro, una vez que tanto del un lado como del otro ha de salir el vapor, y por esto, á la vez que, como ahora, se disponen dos conductos para la entrada, se indicaba en el artículo anterior que eran precisos dos tubos para la salida.

Una sola palabra basta para desvanecer tales dudas: los conductos de entrada del vapor sirven tambien para la salida del mismo en el mecanismo que se estudia, merced á una pieza que no se ha descrito todavía y se conoce con el nombre de corredera.

Considerando nuestra faceta plana como el solar para la construccion de una casa, levátemos en sus cuatro lados otras tantas paredes de hierro, cuya altura sea próximamente igual al rádio del cilindro: cerremos herméticamente el espacio por una cubierta plana del mismo metal, y para que la comparacion sea completa, abramos un agujero en este techo y coloquemos en él un tubo, esta será la chimenea de nuestra pequeña casa que constituye la pieza de la locomotora, llamada caja de distribucion. Téngase presente, sin embargo, que por el último citado conducto, en vez de salir gases, va á entrar el vapor procedente de la caldera; de modo que dicho

tubo no es otra cosa que el extremo de uno de los dos en que se bifurcaba el contenido en la caldera. ¿Qué sucedería si el aparato no tuviera más piezas que las descritas? El vapor llegaría por aquel tubo á la caseta ó caja que se dispone sobre la faceta plana, y encontrando en la superficie de ésta las aberturas de los tres conductos, por ellos se lanzaría, llegando por los longitudinales, que corresponden á los círculos pequeños, á la capacidad interior del cilindro, para colocarse á uno y otro lado del émbolo, y por el transversal saldría á la atmósfera, pasando por el tubo que á éste se adaptaba en su boca exterior y lateral que queda fuera del recinto cerrado por las paredes de la caja. En tal disposición, el mecanismo no podría funcionar; el émbolo estaría sometido por uno y otro lado, suponiéndole en su posición media, á esfuerzos iguales y contrarios, y evidentemente no se movería.

Añadiendo la pieza á que nos hemos referido, el aparato se completa. La corredera no es otra cosa que una pequeña caja rectangular que no tiene tapa, y cuyas dimensiones son tales que, colocándola invertida (es decir, con el fondo en la parte superior) sobre la superficie plana de la faceta exterior del cilindro, quepa dentro del recinto ó caja que tiene por piso esta

superficie, y no sea posible cubrir con ella más que dos de los orificios ó bocas de los conductos que se destinan para la entrada y salida del vapor.

Veamos cómo, merced á tan sencilla pieza, se consigue la distribución de éste. Para ello supondremos la corredera colocada de modo que cubra los orificios central y de la izquierda; como sus dimensiones son tales que no puede cubrir más que dos de los tres orificios de la superficie de la faceta plana, el tercero, ó sea el de la derecha, quedará descubierto. En tal disposición, la corredera que está oprimida sobre aquella superficie por la presión del vapor que llega á la caja dentro de la cual se encuentra, establece en realidad la comunicación del conducto longitudinal de la izquierda con el del centro. La boca del conducto de la derecha está descubierta, según hemos dicho, y sólo por él podrá pasar ahora el vapor que llega á la caja para seguir hasta el extremo derecho del cilindro; y si suponemos que el émbolo se encuentra en este punto, fácil es comprender que el vapor obrará sobre él determinando su avance de derecha á izquierda, una vez que no habiendo podido pasar vapor al extremo de este lado por cubrir la corredera la boca del conducto correspondiente, será superior la presión ejercida en

el sentido en que al fin se efectuará el movimiento. Pero cuando el émbolo avanza de derecha á izquierda, empuja delante de sí el aire ó vapor que se halla en la capacidad de este lado, y es necesario que tales cuerpos gaseosos encuentren una fácil salida al exterior. Tal salida se establece por medio de la corredera situada en la posición que se ha dicho, por cuanto desembocando en su capacidad interior el conducto de la izquierda, á ella pueden llegar el aire ó el vapor del interior del cilindro, y en el momento que la llenen saldrán por el conducto central, cuya boca también se encuentra dentro del perímetro circunscrito por dicha corredera. En el momento que el émbolo haya llegado al extremo de la izquierda en el cilindro, hagamos deslizar la corredera sobre la superficie de la faceta en que insiste, hasta que cubra el orificio de la derecha; atendiendo á las dimensiones de esta pieza, se comprende que al verificar este deslizamiento saldrá del recinto de la corredera el orificio de la izquierda, continuando el central cubierto; con lo cual se habrá establecido entre éste y el conducto de la derecha, la misma comunicacion que ántes existia entre el primero y el de la izquierda, por el que solamente podrá entrar ahora el vapor de la caja. El efecto que se producirá será idéntico al que

se verificaba en el caso anterior: el vapor que quedará á la derecha del émbolo saldrá á la atmósfera siguiendo el conducto de este lado, y pasando por la capacidad interior de la corredera al conducto trasversal que en aquella desemboca. Por efecto de esto se enfriará, disminuirá su fuerza elástica, y siendo preponderante la del que llega á la otra cara del émbolo, por el conducto de la izquierda, tendrá lugar el movimiento en sentido de este lado á la derecha, y se sostendrá el alternativo, repitiendo para cada carrera del émbolo el cambio de posición de la corredera.

Ahora puede apreciarse debidamente cómo esta pieza permite reducir á uno los dos tubos de salida del vapor, aprovechar los conductos longitudinales para la salida y entrada de aquél, y establecer la conveniente relación entre el central, por donde en último resultado sale el vapor, y las capacidades cilíndricas de uno y otro lado del émbolo.

Pero si aquellas dudas se han desvanecido, surge otra que entraña importancia no pequeña. Es verdad, puede decirse, que con el mecanismo que se ha descrito no hay necesidad de llaves; pero no por esto se evita el tener que efectuar un movimiento en la corredera para que el aparato funcione. Fijándose en la natu-

raleza de este movimiento, fácilmente se comprenderán las inmensas ventajas de la disposición adoptada.

Excéntrico para el movimiento de la corredera.—Recordemos el mecanismo de trasmisión ántes explicado, y en virtud del cual el movimiento rectilíneo y alternativo del émbolo, su vástago y la biela se trasforma en el circular del eje de las ruedas. Con muy pequeño esfuerzo de imaginación puede comprenderse que, si se hace girar la rueda, su movimiento circular se transformará recíprocamente en rectilíneo y alternativo, de la biela, del vástago del émbolo y de este émbolo, que podremos de tal modo hacer que pase de un extremo á otro del cilindro como consecuencia del giro del eje de las ruedas. De esta consideración se deduce que el movimiento circular de este eje puede dar origen á otro alternativo; y como el de la corredera debe ser de esta clase, resulta evidentemente, que si hacemos que un vástago unido á la corredera y pasando por la pared posterior de la caja en que aquélla está encerrada, del mismo modo que se ha dispuesto el vástago del émbolo, se enlace con una manivela de forma especial montada sobre el eje de las ruedas que giran por la acción del vapor, el giro de este eje se transformará en movimien-

to alternativo de la corredera, que es el objeto que pretendíamos realizar. Esta manivela de forma especial recibe el nombre de excéntrico.

Dos objeciones pueden, sin embargo, presentarse. ¿Si el movimiento del émbolo ha de ser consecuencia del movimiento de la corredera, cómo se pretende obtener el de ésta con el de aquél? Y en segundo lugar, puede decirse que siendo continuo el movimiento de giro del eje de las ruedas en que va montada la manivela de forma especial que ha de servir para transformar aquel movimiento circular en el alternativo de la corredera, ésta se hallará deslizándose continuamente también de un lado á otro, y por lo tanto no se realizará la traslación de dicha pieza en el momento preciso, es decir, cuando el émbolo llega á cada uno de los extremos del cilindro.

Para contestar á la primera observación, basta consignar que, hallándose la corredera en una de las dos posiciones extremas que puede ocupar, ó lo que es lo mismo, cubriendo el conducto central y el de la derecha, ó bien aquél y el de la izquierda, como en ambos casos uno de los conductos laterales quedará descubierto, es suficiente que llegue el vapor á la caja adosada al cilindro sobre la faceta plana, para que entrando por el conducto que esté descubierto

obre sobre el cilindro y le haga avanzar en un sentido; con lo cual se conseguirá que empiece á girar el eje y con él la manivela especial que mueve la corredera de la manera oportuna, para que en el instante en que el émbolo llegue al extremo de su carrera, se halle cambiada su posición, pasando á dejar descubierto el conducto lateral que ántes cubria, y por lo tanto, permitiendo la entrada del vapor, para que el émbolo avance en sentido contrario á su marcha anterior, ó lo que es lo mismo, para que la máquina funcione. Se ve, en consecuencia, que para obtener este resultado basta dejar libre la entrada al vapor en la caja adosada al cilindro.

Movimiento de la corredera.—Por lo que precede puede comprenderse que el movimiento de la corredera no se verifica de una manera brusca, es decir, pasando rápidamente de una á otra de sus posiciones extremas, sino paulatinamente y de modo que mientras el émbolo recorre el cilindro de un extremo á otro, la corredera pasa de la posición que permitia este movimiento á la que ha de permitir el opuesto. Queda con esto corroborado el fundamento de la segunda de aquellas objeciones, y expuesto, de la rápida manera que nos es posible, el enlace que existe entre el movimiento de ambas piezas.

Fácilmente se comprende, que según se haya calculado el movimiento de que se trata con relación á la distancia de los orificios y dimensiones de la corredera, elementos importantes que, como es natural, entran en este cálculo, así podrá conseguirse que esté más ó menos tiempo abierta la comunicacion de los conductos laterales con la corredera; ó lo que es lo mismo, con la atmósfera y con la caja adosada al cilindro, á la que llega el vapor de la caldera. Precisamente en la práctica, con objeto de obtener una regular economía en el gasto de vapor, no se permite la entrada de éste en uno de los lados del cilindro durante todo el tiempo que emplea el émbolo en pasar de uno á otro extremo, sino que se disponen de modo conveniente las dimensiones de la corredera, para que ántes que se verifique la carrera total se cierre el conducto de entrada del vapor, con lo cual se obliga á aquel agente á que obre por expansion sobre el émbolo, una vez que en el momento que se cierre la comunicacion con la caja que le contiene, reducido el que se encuentra en la capacidad del cilindro á la cantidad que ha entrado, tenderá á ocupar un espacio mayor en virtud de su fuerza elástica, y este aumento de volúmen determinará el avance del émbolo. De modo, que si se hace llegar el vapor en las con-

diciones de presión necesaria para que al esparcirse pueda vencer las resistencias que se oponen á la marcha del émbolo, se conseguirá este resultado empleando una cantidad de vapor más pequeña que la que se hubiese gastado, sin la modificación que se describe, por cuanto con ella no ha sido preciso que se llene de vapor toda la capacidad del cilindro, sino que en esta se ha recibido tan sólo la que ha entrado durante el tiempo menor que estuvo abierto el conducto lateral correspondiente.

El estudio de estas disposiciones especiales es importantísimo, por cuanto se traduce, según hemos dicho, en el más acertado aprovechamiento del esfuerzo motor. No nos es posible detenernos en consignar más detalles, porque su exposición nos sacaría de los límites que corresponden al presente trabajo. Basta lo dicho para comprender el fundamento de tal estudio; debiendo añadir tan sólo, que siendo dependiente de la posición de la corredera, con relación á los conductos de entrada del vapor, el tiempo que tarda en verificarse la admisión de éste, y dependiendo también, como fácilmente puede vislumbrarse, el efecto que produce la expansión del vapor, de las condiciones de presión en que se encuentre en cada momento y de las resistencias que hayan de ser vencidas, convendría

poder variar el grado de dicha expansion, á fin de armónizar debidamente todas las indicadas circunstancias. A tal objeto concurre un ingenioso mecanismo ideado por Stephenson, y merced al cual en cada momento es posible colocar la corredera de modo que el movimiento alternativo en ella producido por el giro de las ruedas procure la entrada del vapor de la manera más conveniente.

Palanca de cambio de marcha.—Y ya que de este aparato se ha hecho mencion, conviene consignar otro importante servicio á que se destina, y consiste en determinar y cambiar el sentido de la marcha del tren. Dicho mecanismo permite, segun se ha dicho, variar la posicion de la corredera, y precisamente una determinada variacion de ésta es lo único que se necesita para cambiar la marcha. En efecto, si suponemos que al llegar el vapor á la caja adosada al cilindro, la corredera está cubriendo el orificio de la derecha y el central, por el de la izquierda entrará aquél y empujará el émbolo hácia adelante: en igual sentido avanzarán su vástago y la biela; por lo tanto, la manivela girará de izquierda á derecha, y con ella el eje y las ruedas á éste unidas, y el movimiento de la máquina será tambien hácia delante. Si la corredera al llegar el vapor ocupára la posicion opuesta, la

entrada de aquél se verificaria por el conducto de la derecha del cilindro, y el émbolo y las demas piezas á él unidas serian empujadas de delante á atras y producirian en el eje de las ruedas el giro de derecha á izquierda, es decir, contrario al que ántes se producía, como lo será tambien el de la máquina.

Este aparato se maneja de una manera muy fácil por medio de una palanca que se halla muy próxima á la plataforma de la locomotora y al alcance del maquinista.

Situacion que ocupa en la locomotora el aparato de distribucion.—Hasta ahora hemos estudiado el mecanismo de distribucion prescindiendo en realidad de su colocacion en la máquina, pues sólo hemos dicho que los cilindros ocupaban la parte anterior de la misma á uno y otro lado de la caja de humos. Pero cuando esto se decia, aún no se habia hablado de la caja adosada á dichos cilindros, y dentro de la cual se mueve la corredera. Un detalle importantísimo de la locomotora nos obliga á indicar la posicion que corresponde á dicha parte del aparato en cuestion.

A la mencionada caja (ya se sabe que hay una en cada cilindro, y por lo tanto una á cada lado de la de humos) llega uno de los dos tubos en que dijimos se bifurcaba el que en la cal-

dera recogia el vapor, y cuyas bifurcaciones descendian adaptadas al cuerpo cilíndrico de dicha caldera, despues de haber atravesado la pared de la misma. Por esta razon se dispone el cilindro con su caja, de modo que la cubierta esté en la parte superior, y á ella se une el extremo de aquel tubo. Pero hemos dicho tambien que por la parte lateral de la caja desembocaba el conducto central por donde sale el vapor despues de haber obrado en los cilindros, y que en tal desembocadura se enchufaba otro tubo que habia de conducir el vapor á la atmósfera para que perdiera su fuerza elástica y no se opusiera al movimiento del émbolo; ahora bien, ¿dónde se coloca este tubo? Este es el detalle importantísimo á que nos referíamos, y que, como se consigna en otro lugar, es uno de los elementos característicos de la locomotora, y se debe tambien, como el aparato anterior, al distinguido genio de Stephenson.

Dicho tubo se coloca dentro de la caja de humos, y adaptado á sus paredes laterales sube hasta la base de la chimenea, que arranca de la cubierta de aquella caja, y allí se une con el que viene del otro cilindro. Esta disposicion determina por completo la colocacion del cilindro, que ha de tener, para que aquello se verifique, la caja á él adosada en la parte superior y de

modo que la pared lateral de ésta, por donde sale aquel tubo, esté en contacto con la pared correspondiente de la caja de humos. El resto del aparato se halla colocado en debida correspondencia con la manivela del eje de las ruedas que ha de mover la biela del émbolo, y con la de forma especial ó excéntrico que se destina al movimiento de la corredera.

Tiro de vapor. — Llega á la base de la chimenea el vapor que rápidamente se escapa del cilindro, despues de haber obrado, y á su paso por el centro de aquélla arrastra el aire, con lo cual se consigue activar el tiro cuanto es necesario; objeto que no puede realizarse en la escala debida con la chimenea que forzosamente ha de tener la pequeña altura exigida por la marcha, y que dista bastante de ser la indispensable para producir por sí sola aquel efecto.

Descritas las tres partes esenciales de la locomotora, puede ya seguirse el curso del vapor en todo el mecanismo. Sobre la superficie del agua contenida en la caldera se reúne y almacena el vapor producido por la elevacion de temperatura, ó sea por el calor del hogar; pasa por el tubo que longitudinalmente ocupa la parte superior de aquel espacio, alcanza su extremo, y siguiendo por una y otra de sus dos bifurcaciones, recorre estos tubos exteriores á

la caldera; llega por cada uno de ellos á la caja adosada á los cilindros de los émbolos; pasa por el conducto lateral que encuentra abierto; ejerce su accion sobre el cilindro dando movimiento á todo el mecanismo, miéntras la corredera cambia de posicion; una vez que esto se ha verificado, sale por el mismo conducto que siguió á su entrada; pasa por el interior de la corredera, donde encuentra abierto el conducto central; por él penetra, y despues de recorrerle entra en el tubo adaptado al extremo del mismo y colocado en el interior de la caja de humos, y siguiendo éste llega á la base de la chimenea, por cuyo extremo superior se lanza á la atmósfera, formando, al condensarse, las nubecillas que constituyen el elegante penacho de la locomotora; de suave color blanco cuando sólo el vapor las constituye, y de pronunciadas tintas oscuras, cuando manchan su pureza los productos gaseosos de la combustion, que rápidos le alcanzan al llenar el vacío que en su movimiento aquél produce, obedeciendo sumisos la imperiosa órden sintetizada por Stephenson en este mecanismo llamado *tiro de vapor*.

Diversos aparatos complementarios de la locomotora.—Ya se comprende cómo puede funcionar la locomotora; pero es preciso comprender tambien cómo es dado al maquinista dirigir

sus funciones. Con objeto de que éste conozca la disposicion en que se halla el vapor para trabajar, se dispone un manómetro al alcance de su vista, que le servirá, por lo dicho en el capítulo anterior, para conocer la presion. A fin de que pueda disminuir ésta al grado prudencial, lleva tambien la caldera llaves y válvulas convenientemente dispuestas para dar salida al exterior á una parte del vapor y conseguir aquel resultado. Una de dichas llaves constituye el conocido silbato cuyo sonido patentiza la cooperacion del vapor, y es producido por la vibracion de unas placas metálicas que dicho agente conmueve fuertemente al pasar por la estrecha abertura que le ofrecen como única salida para lanzarse á la atmósfera. Es preciso que el maquinista sea dueño de mantener el vapor almacenado en las debidas condiciones cuando la locomotora esté parada, y de enviarle á el aparato de distribucion cuando el tren haya de ponerse en movimiento; para realizar ambos objetos se dispone una llave, cuyas formas pueden ser várias, en el tubo que recoge el vapor en la caldera y en la proximidad de su punto de bifurcacion. El sitio que ocupa esta llave se marca en algunas locomotoras por una cúpula ó caja que se ve en la parte superior de la caldera, y en cuyo interior se encuentran aquélla

y la bifurcacion del tubo. Una varilla que llega hasta la plataforma permite al maquinista la maniobra. De análoga manera se regulariza la salida del vapor por los tubos que desembocan al pié de la chimenea, y como se comprende fácilmente, la maniobra de las llaves que cierran ó abren la comunicacion con la atmósfera, da por resultado el cambio de tiro, y por lo tanto de la actividad en el hogar, con la que íntimamente se relaciona la produccion del vapor.

Ya se ha dicho que el mecanismo que permite verificar el cambio de marcha y variar la duracion de la entrada del vapor en los cilindros, ó lo que es lo mismo, dirigir debidamente la accion de éste, se termina en una palanca colocada tambien al alcance del maquinista.

Este puede, por lo tanto, merced á los aparatos enumerados, conocer el estado del vapor, poner en movimiento la locomotora, arreglar el gasto del combustible segun las circunstancias que concurren en la marcha, dirigir convenientemente la fuerza motriz, detener el movimiento y verificar el avance ó el retroceso del tren segun fuere necesario.

Fáltale tan sólo, para ser dueño del mecanismo, conocer cuándo necesita alimento este poderoso caballo. La puertecilla del hogar le deja ver la cantidad de combustible que hay en el

mismo y le proporciona el medio de aumentarle en la escala necesaria; y en cuanto al agua de la caldera, conoce la altura á que se encuentra merced á un tubo de cristal colocado verticalmente, adosado á la superficie posterior de aquella parte, y que comunica por su extremo inferior abierto con la capacidad que corresponde al agua, y por el superior, tambien abierto, con la cámara destinada al vapor. En dicho tubo se marca por lo tanto el nivel del líquido en la caldera; y al mismo fin conducen varias llaves colocadas en la citada superficie á distintas alturas, abriendo las cuales sucesivamente y observando si por ellas sale agua ó vapor, deduce el maquinista con la necesaria aproximacion la altura á que el líquido se halla en la caldera. Por medio de bombas convenientemente dispuestas para ser movidas por el mecanismo y enlazadas por tubos á las cajas del ténder que contienen el agua, puede hacerse llegar ésta á la caldera en la proporcion que fuere necesaria. Esto en la hipótesis de que no se emplee el ingeniosísimo aparato que realiza el mismo fin y se conoce con el nombre de inyector Giffard.

Si lo que no es de esperar, verificándose el servicio con el orden y precision debidos, la presión del vapor en la caldera adquiriese un

grado superior al que corresponde á las condiciones de resistencia de la locomotora, la disposicion tubular de aquélla evita en la mayor parte de los casos su explosion. Natural es, en efecto, que más bien que la resistente cubierta exterior de la caldera, se rompa por el exceso de presion alguno de los delgados tubos que la forman, por el cual, una vez roto, á la vez que se daria fácil acceso al vapor y al agua, y con esto se disminuiria la presion, podria llegar el líquido al hogar, donde apagando el combustible, suprimiria la causa que produjera la vaporizacion y la presion. Esta es una importantísima ventaja que valora grandemente el notable aparato ideado en nuestro siglo, y merced al cual, la industria de los trasportes, las satisfacciones de la vida y la marcha de la civilizacion, han adquirido tan extraordinario desarrollo.

ARTÍCULO VI.

Trabajo de la locomotora.—Diversos tipos de locomotoras.

De la misma manera que al examinar la influencia que ejercen las condiciones del camino, aumentando ó disminuyendo las resistencias que hay que vencer con el esfuerzo motor, pres

cindimos de la naturaleza de éste, concretándonos á consignar su existencia, como elemento imprescindible en el transporte, de igual modo en el presente artículo prescindiremos por el pronto de los detalles relativos á dichas resistencias, que ya conocemos merced á lo expuesto anteriormente, y que tomaremos en conjunto como expresion del esfuerzo que hay que vencer, y á cuyo trabajo en cada momento debe ser igual el del motor, una vez conseguida la regularidad de la marcha, determinada por la velocidad con que haya de recorrerse el camino.

Así nos será posible estudiar en realidad el segundo miembro de la igualdad que se establece entre los dos mencionados trabajos; y por análogo procedimiento al empleado para deducir aquellos aumentos ó disminuciones del resistente, por efecto de las diversas circunstancias y condiciones del camino, podremos apreciar, si quiera sea aproximadamente, la influencia que á su vez ejercen en el motor las dimensiones del aparato «locomotora» en que se produce, y mediante cuyo mecanismo se dirige y aplica.

Relacionados estos dos términos por la condicion de igualdad que en todo momento debe existir entre ellos, nos será dado llegar á la aplicacion práctica en lo que se refiere al pro-

blema que se examina; ó lo que es lo mismo, á deducir bien el aparato que haya de emplearse para trasportar una carga determinada por un camino de condiciones definidas, bien el resultado inverso, ó sea la carga que es posible trasportar por el mismo camino con una locomotora determinada. Una ú otra consecuencia, habida cuenta de todas cuantas circunstancias integran el objeto á que se destina un camino de hierro, servirá de base para sintetizar el estudio en la resolución del problema científico-económico, que para los intereses generales y particulares, entraña la construcción de una vía de esta naturaleza.

Encendido el combustible en el hogar de la locomotora, el calor desarrollado determina, según se ha dicho, la vaporización del agua en la caldera. Este líquido transformado en gas ocupa la parte superior de la misma, donde se mantiene aprisionado hasta que se abre la llave que le permite lanzarse por los dos tubos que han de conducirlo á los cilindros, sobre cuyos émbolos ejerce su acción, produciendo el movimiento que por la biela y manivela se trasmite al eje de las ruedas en que ésta se halla montada. Los émbolos ejecutan un movimiento rectilíneo alternativo que se patentiza en el avance y retroceso de la varilla y que se convierte

en el circular de las ruedas. La locomotora se encuentra colocada sobre los carriles cuando dicho movimiento de giro se verifica, ¿cuál será el efecto que se produzca? La experiencia lo manifiesta casi constantemente: el tren marcha á lo largo de los carriles.

Marcha de la locomotora sobre los carriles.

—Para explicar este efecto, de cuyo resultado práctico en escala conveniente se dudó en las primeras tentativas hechas con el fin de aplicar el vapor á la locomocion, segun se deja consignado en uno de los primeros artículos, bastará que recordemos lo expuesto acerca del rozamiento que se desarrolla en los cuerpos en contacto. Decíamos al hablar de este importantísimo elemento, que el peso de un vehículo cualquiera colocado sobre el afirmado de una carretera, sobre llantas de piedra ó de madera, ó bien sobre carriles de hierro, daba origen ó desarrollaba un esfuerzo que ejercia su accion en la misma línea del camino, pero oponiéndose á la realizacion de la marcha, hasta el punto de que esta no podia verificarse mientras no fuera vencido tal esfuerzo por el llamado motor. Este fenómeno que debe considerarse como perjudicial, por cuanto aumenta inevitablemente las resistencias, cuya intensidad se ha tratado de disminuir por medio del empleo de las barras

de hierro, determina, sin embargo, la marcha del tren, ofreciéndose, bajo este punto de vista, como indispensable y provechoso. Sin más detenido exámen, es fácil deducir que de lo dicho resulta una verdadera paradoja, por cuanto si ha de ser provechoso el rozamiento para la marcha, al atenuarle se causa un perjuicio en lo que atañe á esta importante circunstancia; y si es perjudicial, una vez que aumenta las resistencias, al tratar de aprovechar su efecto en la mayor escala para aquel fin, se da lugar precisamente al desarrollo de dichas resistencias, y con esto se pierden las ventajas que proporcionan los carriles de hierro.

Es evidente que existe esta contradicción, que puede decirse entraña gran parte del estudio esencial relativo á la marcha en los caminos de hierro. El realizar la debida armonía entre aquellos antitéticos efectos, en los que influyen todos los elementos del problema, constituye el objeto de tal estudio, y las consecuencias de éste, tanto en el terreno teórico cuanto en el práctico, sintetizadas se hallan en la explotación de los ferro-carriles que hoy cruzan la mayor parte de las comarcas de la tierra.

Detengámonos un momento en tan importante asunto. Imaginemos colocada la locomotora sobre los carriles de una alineación recta

y horizontal; supongamos que por medio de un esfuerzo convenientemente aplicado la hacemos deslizar sobre aquéllos, pero sin que giren sus ruedas; es evidente que dicho esfuerzo tendrá que vencer el rozamiento que se desarrrolla en el contacto de las ruedas y del carril, y cuyo valor se calcula (véase el artículo segundo de este capítulo) multiplicando el peso de la máquina por el coeficiente práctico que corresponda á la materia de que estén formados aquellos cuerpos. Si pretendiéramos, por el contrario, y mediante un esfuerzo exterior tambien, hacer avanzar la locomotora, aprovechando el giro de sus ruedas, el valor de dicho esfuerzo sería menor en este caso que en el anterior, porque si bien en uno y en otro está determinado por el peso de la máquina, en el último habria que emplear, para deducirle, un coeficiente menor que el que hubiera de emplearse en el primero. Como consecuencia de esto, puede decirse que el peso de la máquina ocasiona dos distintas resistencias correspondientes á el caso en que las ruedas deslizan, y á el en que éstas giran; y que cuando se aumente dicho peso crecerá más rápidamente la resistencia que se opone al deslizamiento, que la que se opone á la rodadura, una vez que el coeficiente por quien hay que multiplicar este aumento de peso para deducir

el de resistencia, es mayor en el primer movimiento que en el segundo.

Consignado esto, que no es otra cosa que lo dicho en el citado capítulo con motivo del estudio de las resistencias que se oponen á la marcha de un vehículo cualquiera, podremos darnos cuenta del verdadero valor de la contradicción ántes mencionada. Supongamos que estando parada la locomotora aplicamos á las ruedas en el punto de contacto con el carril un esfuerzo igual al que determinaba el avance por medio del deslizamiento; es evidente que en estas condiciones la rueda al obedecer á tal esfuerzo girará sobre el carril sin avanzar, y destruyendo el obstáculo que en cada momento se presenta en el punto de contacto, donde constantemente tambien se supone que actúa aquel esfuerzo con su intensidad suficiente para determinarle. Esta destruccion del obstáculo, que en último término no es otra cosa que el constituido por el invisible engrane de las asperezas del carril y la rueda puestos en contacto, se patentiza por el desgaste de las superficies rozantes, y este es el único resultado que se obtiene de la aplicacion de tal esfuerzo.

Ahora bien; si este esfuerzo, en vez de producirle exteriormente, se supone que es el producido por la accion del vapor al obrar sobre

los émbolos, y que se trasmite por la biela y manivela á la llanta de la rueda, es evidente que el resultado será idéntico; la rueda girará sobre su eje rozando sobre el carril, destruyendo el obstáculo que ofrece el rozamiento, consecuencia del engrane de las asperezas, pero sin producir la marcha de la máquina. Imagínese, por el contrario, que el esfuerzo que se aplica en la llanta de la rueda, ya sea producido exteriormente á la máquina, ya resultado de la acción del vapor sobre los émbolos transmitida por la biela y manivela, tenga un valor menor que el necesario para destruir el obstáculo originado por el engrane, ó lo que es lo mismo, menor que el que se necesita para producir el deslizamiento de la rueda sobre el carril, pero mayor que el que es preciso ejercer para destruir el obstáculo que se opone á la rodadura, es claro que en este caso, la rueda al girar no romperá las asperezas, porque para esto no tiene suficiente intensidad el esfuerzo que se aplica; pero no sólo rodará sobre el carril, sino que en dichas asperezas encontrará un punto de apoyo para destruir una nueva resistencia que se agregára á la máquina, y cuyo valor fuera igual al exceso del esfuerzo que se aplica, sobre la parte del mismo que se emplea en vencer el obstáculo relativamente pequeño que se oponía

á el movimiento de rodadura. La persistencia del punto de apoyo al que pueden referirse la resistencia que hay que vencer y el esfuerzo que se desarrolla para vencerla, se asegura considerablemente aumentando el peso de la máquina, porque según se ha dicho anteriormente, con este aumento, si bien crecen las dos resistencias, la que se opone al deslizamiento y la que se opone á la rodadura, como aquélla crece más rápidamente que ésta, se puede conseguir disponiendo un aumento conveniente de peso, que disten bastante entre sí los valores que resulten para las mismas, con lo cual se podrá emplear un esfuerzo de tracción, así llamado el que se ejerce en el punto de contacto de la rueda y el carril, que siendo menor que la resistencia al deslizamiento, determine el avance del tren, y que siendo mayor que la resistencia á la rodadura, venza ésta con exceso, sobrando todavía una parte de dicho esfuerzo que, aplicada al punto de apoyo, en él ejerza su acción para sobrepasar una resistencia adicional, cuyo valor podrá ser tanto más grande, cuanto mayor sea la diferencia que exista entre aquellas dos primeras resistencias.

No habiendo estudiado en el terreno experimental las cuestiones relativas al rozamiento en las dos clases de movimiento que se han exa-

minado, se explica cómo pudo establecer su axioma Trevithick (1). No admitiendo diferencia entre las resistencias que se originan en el deslizamiento y en la rodadura, es como puede tener valor la paradoja anteriormente consignada, puesto que sólo en esta hipótesis es posible deducir que el aumento de peso de la locomotora es tan perjudicial en este aparato como en los wagones. En una y en otros, se aumenta sin duda alguna la resistencia originada por la rodadura; pero si bien en los últimos conviene que el peso sea lo menor posible, á fin de que aquella resistencia sea debida en su mayor parte á la imprescindible carga que haya de transportarse, en la locomotora, por el contrario, es indispensable aumentar el peso en la conveniente escala, porque sólo de este modo se consigue el aprovechamiento del esfuerzo de tracción en toda la parte que sobrepaja á la resistencia de rodadura, merced á la existencia del punto de apoyo debido á la resistencia de deslizamiento.

Adherencia.—Dedúcese de todo lo dicho como resúmen, que el esfuerzo de tracción, desarrollado en la llanta de la rueda por su contacto con el carril, por una parte ha de ser ma-

(1) Véase el art. 3.º del cap. I.

yor que la suma total de resistencias que se han de vencer, y por otra menor que el valor del rozamiento de deslizamiento producido por el peso de la máquina que insiste sobre las ruedas motrices, y que por efecto de las consideraciones expuestas recibe el expresivo nombre de adherencia.

Fácilmente se ocurre que no pudiendo el esfuerzo de tracción ser mayor que esta adherencia, sean las que quieran las condiciones de la máquina, para aprovechar éstas debidamente, es indispensable disponer las cosas de modo que dicha adherencia sea la mayor posible. Su valor, según repetidas veces se ha dicho, es igual al producto del coeficiente de rozamiento por la parte del peso de la máquina que insiste sobre las ruedas motrices, en cuyas llantas, en contacto con el carril, se desarrolla aquel esfuerzo, que no es otra cosa que una transformación del que actúa en los émbolos. Dos medios se presentan, por lo tanto, para aumentarle: ó aumentar el coeficiente de rozamiento, ó aumentar el peso que insiste sobre las ruedas motrices. El primero, si la locomotora y los wagones han de recorrer los mismos carriles, destruirá todas las ventajas que con el empleo de éstos se obtienen, y que como se ha demostrado, son consecuencia inmediata de la

disminución del coeficiente, aún en el caso del movimiento por rodadura. Comprendiendo esto los primeros constructores de máquinas, idearon disposiciones que obligaban á emplear dos coeficientes de rozamiento: uno para los wago-nes que rodaban sobre los carriles y otro para la locomotora, cuyas ruedas motrices se disponian dentadas y engranando con barras cuyas superficies estaban labradas tambien en resaltos ó dientes. Esta disposicion, como otras muchas, cuyo objeto no era otro que aumentar la adherencia por medios en realidad exteriores, están hoy proscritos por los muchos inconvenientes que ofrecen, y fuera de algunos sistemas especiales, en los que con el fin de salvar fuertes pendientes, se ha vuelto á hacer uso de la adherencia artificial, sólo se consigue el necesario aumento de ésta, por medio del factor, peso sobre las ruedas motrices, distribuyéndole con arreglo á las prudenciales consideraciones expuestas en los párrafos anteriores.

El esfuerzo de traccion depende, por lo tanto, de esta distribucion, una vez que de ella depende á su vez la adherencia que determina dicho límite. Compréndese fácilmente que para calcular en la práctica el límite del esfuerzo de traccion, bastará multiplicar, segun repetidas veces se ha dicho, el peso que insiste sobre las ruedas

motrices, por el coeficiente de rozamiento desarrollado por deslizamiento.

Circunstancias que hacen variar la adherencia, y diversos valores de sus coeficientes.— Este coeficiente no tiene un valor constante, porque en él influye el estado de humedad de los carriles: cuando se hallan completamente secos puede tomarse como resultado práctico el núm. 0,25 para valor de dicho coeficiente; en el caso en que los carriles estén ligeramente humedecidos, como sucede en los túneles, el coeficiente de que se trata no pasa de 0,10; y como término medio pueden adoptarse los valores 0,12 ó 0,14, según las condiciones del clima en que se establece el camino. Si suponemos que el peso que insiste sobre las ruedas motrices es igual á 14.000 kilogramos, la adherencia variará según las circunstancias que concurran, desde 1.400 kilogramos (producto de 14.000 por 0,10) hasta 3.500 kilogramos (producto de 14.000 por 0,25); y tales números representarán, por lo tanto, en los casos correspondientes, los mayores valores que puede adquirir el esfuerzo de tracción.

En todo lo que precede, hemos considerado este esfuerzo comprendido entre dos límites: uno inferior, determinado por las resistencias que hay que vencer consideradas en conjunto,

y el otro superior, definido por la adherencia. Ya se ha visto cómo puede aumentarse éste, merced al aumento de peso sobre las ruedas motrices de la locomotora, y fácil es deducir que no siendo dado aumentar indefinidamente este peso, tendrá un valor fijo y determinado dentro de ciertos límites para cada tipo de locomotoras. De aquí surge también la idea de que estos tipos podrán variarse mucho, según se varíe el peso que insista sobre sus ruedas motrices; y sin descender á detalles debe consignarse que este es uno de los elementos característicos del aparato que se estudia, y atendiendo á él se establece una base de clasificación.

Influencia de las condiciones de la locomotora en el esfuerzo motor.—No conviene, sin embargo, exponer dicha clasificación antes de haber analizado la influencia análoga que ejercen las condiciones de la locomotora en el límite inferior del esfuerzo motor en cada caso particular. Esto entraña el verdadero estudio de tan ingenioso mecanismo.

El vapor, obrando sobre los émbolos con una presión determinada, produce el movimiento de éstos, que transmitido por la biela y manivela, da lugar al de las ruedas motrices. En las llantas de estas actúa á su vez con una

intensidad capaz de vencer las resistencias; por lo tanto, si suponemos que se haya establecido el movimiento uniforme del tren con una cierta velocidad, para lo cual es preciso que dicho esfuerzo de traccion, ó lo que es lo mismo, las resistencias que vence, á cuya suma ha de ser igual en intensidad, sea inferior á la fuerza llamada adherencia, porque sin que esto se verifique, el tren no podría avanzar: es evidente que en tales condiciones el trabajo que en los cilindros realizará la fuerza presión del vapor obrando sobre los émbolos, deberá ser idéntico al que realice el esfuerzo referido á las llantas, una vez que este no es otra cosa que una transformación de aquél, ó más bien una consecuencia del mismo, cuyo efecto ó resultado práctico como trabajo no puede ser distinto.

Nótese bien, que respecto al valor del esfuerzo que actúa sobre las llantas, no hemos supuesto otra cosa sino que sea inferior á la adherencia é igual á la suma de resistencias que hay que vencer, considerando éstas reducidas á una fuerza horizontal que se opusiera á la marcha. De esto se deduce que el esfuerzo que por su presión ha de ejercer el vapor sobre los émbolos, tendrá el valor que le corresponda para que el de traccion que actúa en las llantas sea igual á dicha fuerza resistente. Ya veremos des-

pues cómo se define este esfuerzo por las condiciones de la locomotora, con lo cual obtendremos el límite inferior de las resistencias característico de cada tipo.

En realidad, tenemos tres fuerzas actuando en un tren en movimiento con cierta velocidad constante: 1.^a, la resistencia en sentido horizontal que se opone á la marcha; 2.^a, el esfuerzo de traccion igual á ella que actúa para vencerla en la llanta de las ruedas motrices de la locomotora; y 3.^a, la causa de esta fuerza, ó sea la debida á la presion del vapor que actúa en los cilindros, ocasionando el movimiento del émbolo, de la biela y de la manivela, y merced á ésta el de giro de las ruedas, en cuyo contacto con el carril se origina el segundo de los consignados esfuerzos.

Relacion que existe entre el trabajo motor y el trabajo resistente.—La igualdad de trabajos anteriormente expresada entre el desarrollado por la presion del vapor en los cilindros y el producido por el esfuerzo de traccion, trasformacion de éste y que actúa en las llantas de las ruedas motrices, no es otra cosa que la ecuacion mecánica del trabajo en el caso del movimiento uniforme; y que se formula diciendo que el trabajo de la fuerza motriz es igual al trabajo de la fuerza resistente. Esto, precisamente,

es lo que expresa aquélla igualdad; el trabajo debido al motor en la locomotora, es evidentemente el desarrollado por el vapor en los cilindros; y el producido por el esfuerzo de tracción que obra en las llantas de las ruedas, que es el segundo miembro de la igualdad, no difiere en nada del trabajo desarrollado por la fuerza resistente, por cuanto suponemos que esta resistencia y aquél esfuerzo son iguales y están actuando ambos en la dirección del camino, si bien obran en sentidos contrarios.

Este concepto elemental nos ha servido de base para apreciar la influencia ejercida por las condiciones del camino sobre el esfuerzo motor cuando prescindíamos de la manera de producir éste, concretándonos á suponerle como una fuerza, que en cada momento vencía la resistencia, produciendo un movimiento uniforme, y recorriendo ambas el mismo camino que el carruaje arrastrado por la primera; pues es evidente que la acción de la resistencia, aunque contraria á la del motor, ejerce constantemente su efecto perjudicial en toda la longitud ó trayecto recorrido sobre el camino. Los dos trabajos, motor y resistente, eran idénticos en cada instante, por cuanto en cada uno de ellos eran idénticos también los factores, fuerza y camino recorrido, que multiplicados representan el tra-

bajo. Y esta era la razon de que al analizar la influencia de las pendientes, las curvas y la velocidad, calculáramos uno solo de estos trabajos, bien refiriéndole á la carga, ya relacionándole con el motor, segun las consecuencias que se trataba de deducir.

No concurren circunstancias tan sencillas en el estudio del trabajo de la locomotora, y por esto han sido indispensables las aclaraciones que preceden. En este aparato, el camino recorrido por el esfuerzo motor verdadero, es decir, el que actúa en los cilindros, no es igual al recorrido por las resistencias supuestas, como hemos dicho, condensadas en una fuerza que obre en sentido contrario de la marcha, si bien en la misma línea del camino. Las consideraciones anteriores nos permiten enlazar estos trabajos mediante la trasformacion de aquél verdadero esfuerzo motor en el de traccion que se desarrolla en la llanta de las ruedas motrices, por la reaccion debida á la adherencia, que al mismo tiempo sirve para referir al punto de contacto de las ruedas y el carril, la fuerza resistente que se opone al movimiento. En efecto; si prescindiéramos de la causa que hace girar las ruedas, es decir, de la accion del vapor sobre los émbolos: es evidente que la marcha estaria determinada por el esfuerzo que se des-

arrollára en la llanta de las ruedas motrices, merced á la adherencia, que en cada instante se aplicaria en los diversos puntos recorridos en el carril; y la resistencia recorrería igualmente la misma longitud. Con esto, nos encontraríamos en el sencillo caso de la marcha de un vehículo tal y como lo hemos considerado en los artículos anteriores. Siendo iguales los caminos recorridos por el motor y por la resistencia, se obtendría la igualdad de trabajos de ambas fuerzas, indispensable para que el movimiento sea uniforme, haciendo que fueran iguales dichas fuerzas; por consiguiente, del mismo modo que en aquél caso, podemos tomar en el presente para la apreciación del trabajo, bien el de la fuerza de tracción, bien el de la resistente.

Ahora bien; el esfuerzo de tracción que contraresta la resistencia y que como se ha dicho está aplicado en el contacto de la llanta con el carril, es consecuencia de otro esfuerzo que se desarrolla en el interior del aparato, ó lo que es lo mismo, el trabajo de aquel esfuerzo en la llanta no es otra cosa que una transformación del trabajo que se efectúa en los cilindros; por consiguiente, para que el movimiento sea uniforme, forzoso es que estos dos trabajos tengan el mismo valor; y como el que se desarrolla por el esfuerzo de tracción en la llanta es igual

al que originan las resistencias, estableciendo la igualdad entre el primero y el que se verifica en el cilindro, tendremos establecida la ecuacion mecánica entre este último, que es el verdadero motor y el resistente.

Ecuacion del trabajo en la locomotora.—Tal ecuacion es importantísima, y deduciéndola, habremos realizado el objeto que desde el principio de nuestro trabajo nos proponíamos. En ella se encuentran enlazados todos los elementos del problema científico á que se reduce el establecimiento de un ferro-carril. Su planteamiento es tan sencillo teóricamente, cuanto es en extremo difícil su acertada aplicacion en el terreno de la práctica.

Para establecerla bastará que calculemos el trabajo producido por el vapor al obrar sobre los émbolos, y el que se desarrolla por el esfuerzo de traccion que actúa en el contacto de la rueda y el carril, por cuanto, segun se ha demostrado, éste es igual al resistente.

Determinacion del esfuerzo motor.—A los cilindros donde están los émbolos llega el vapor con una presion que, como sabemos, se representa por un cierto número de atmósferas que se reduce á kilogramos, y que es constante por unidad de superficie; de modo que si por cada centímetro cuadrado suponemos que dicha

presión es de P kilogramos, sobre toda la superficie del émbolo será igual á tantas veces P como centímetros cuadrados tenga esta superficie. El émbolo es circular, y por lo tanto, si suponemos que el área de este círculo tiene C centímetros cuadrados, evidentemente la presión total que tenderá á poner en movimiento el émbolo estará representada por el producto de P por C . Ya tenemos calculado el esfuerzo motor. Para determinar el trabajo en la unidad de tiempo, bastará multiplicar aquél esfuerzo por el camino recorrido.

Trabajo debido al esfuerzo motor.—Ahora bien, este camino puede determinarse fácilmente, una vez que ocasionando la presión del vapor el movimiento del émbolo, el camino que recorrerá la fuerza que constantemente actúa sobre el émbolo será igual al recorrido por éste en la unidad de tiempo. Pero el movimiento del émbolo es alternativo, y en cada carrera recorre la longitud del cilindro en que se halla colocado; por consiguiente, si llamamos l esta longitud, y n el número de carreras que hace en la unidad de tiempo, el producto de l por n nos representará el camino recorrido por las caras del émbolo en que se aplica la fuerza en la misma unidad. Y el trabajo del esfuerzo motor en este tiempo lo estará evidentemente por el

producto de la fuerza $P \times C$ por dicho camino, ó sea $l \times n$. Se ve, pues, que para determinar el trabajo del motor bastará multiplicar las cuatro cantidades: P , presión por unidad de superficie; C , área del círculo del émbolo sobre el que se ejerce la acción del vapor; l , longitud ó carrera del émbolo; y n , número de carreras hechas por el émbolo en la unidad de tiempo. El primer miembro de la igualdad que se trata de establecer, será por lo tanto,

$$2 \times P \times C \times l \times n.$$

Se presenta multiplicado por dos, porque el trabajo es doble á causa de haber dos cilindros correspondiendo á las dos manivelas del eje de ruedas motrices.

Trabajo del esfuerzo de tracción ó resistente.—Pasemos á determinar el segundo, ó sea el trabajo del esfuerzo de tracción desarrollado en el contacto de la rueda y el carril. Designemos por F este esfuerzo: para tener el trabajo bastará multiplicarle por el camino recorrido en la unidad de tiempo. Este camino está íntimamente relacionado con el recorrido por el émbolo. En efecto; recordando la disposición del mecanismo de trasmisión expuesto en el artículo anterior, fácil será comprender que al recorrer

el émbolo una carrera, es decir, al pasar de su posición extrema anterior, por ejemplo, á la posición extrema posterior, el botón de la manivela ha girado media vuelta, y con ella han girado también lo mismo el eje sobre el que va montada y las ruedas motrices unidas invariablemente á este eje: en el movimiento de retroceso del émbolo, es decir, al pasar de la posición extrema posterior á la posición extrema anterior, habrá girado otra media vuelta; por consiguiente, para cada dos carreras del émbolo, la rueda ha dado una vuelta completa. En la rodadura sobre el carril, el tren ha avanzado á lo largo de éste una longitud igual al desarrollo de la circunferencia de la rueda. Luego por cada dos carreras del émbolo se avanza una longitud igual á esta circunferencia; ahora bien, por las n carreras que da el émbolo, se avanzará una longitud igual á dicha circunferencia, que llamaremos c , multiplicada por la mitad del valor de n ; y éste será precisamente el camino recorrido por el esfuerzo F , por cuanto en cada instante actúa en el punto de contacto, y éste recorre en la unidad de tiempo el mismo camino. Puede decirse, por lo tanto, que el trabajo de este esfuerzo se obtiene multiplicando las cantidades: F , esfuerzo en cuestión; c , desarrollo de la circunferencia de la rueda

motriz: $\frac{n}{2}$ mitad del número de carreras que hace el émbolo en la unidad de tiempo.

Su expresion podrá formularse

$$F \times c \times \frac{n}{2}.$$

Y escribiendo la igualdad de los dos trabajos, tendremos la ecuacion mecánica

$$2 \times P \times C \times l \times n = F \times c \times \frac{n}{2}.$$

Para mayor claridad presentaremos esta igualdad, marcando la separacion entre los dos factores que en cada término dan el trabajo

$$\underbrace{(2 \times P \times C)}_{\text{esfuerzo}} \times \underbrace{(l \times n)}_{\text{camino}} = F \times \underbrace{\left(c \times \frac{n}{2}\right)}_{\text{esfuerzo camino}} \quad (a)$$

Trabajo del vapor en los cilindros.

Trabajo del esfuerzo de traccion desarrollado en las llantas de las ruedas motrices.

Valor del esfuerzo de traccion.—Sin dificultad puede comprenderse, que siendo el primer trabajo igual al producto del esfuerzo F por el camino $\left(c \times \frac{n}{2}\right)$, el valor de dicho esfuerzo F será igual al cociente de dividir el trabajo del vapor por este camino; y como todo cociente puede expresarse por un quebrado cuyo nume-

rador sea el dividendo y cuyo denominador sea el divisor, es dado escribir:

$$F = \frac{(2 \times P \times C) \times (l \times n)}{\left(c \times \frac{n}{2}\right)} \quad (b)$$

Lo cual quiere decir, que si conociéramos los valores de P , C , l , n y c , podría deducirse fácilmente el de F sustituyendo aquéllos en vez de las letras, y efectuando las multiplicaciones y division indicadas.

Si suponemos, por ejemplo, que $P = 5$ kilogramos por centímetro cuadrado: $C = 1250$ centímetros cuadrados: $l = 0^m,40$: $n = 4$ carreras; y $c = 3^m,14$, efectuando las sustituciones y sucesivamente las operaciones indicadas, tendremos la siguiente serie de igualdades:

$$\begin{aligned} F &= \frac{(2 \times 5 \times 1250) \times (0,40 \times 4)}{\left(3,14 \times \frac{4}{2}\right)} = \\ &= \frac{12500 \times 1,60}{6,28} = \frac{20000}{6,28} = 3188,47 \text{ kilógrs.} \end{aligned}$$

Determinacion de las diversas cantidades que es preciso conocer para deducir en cada caso el valor del esfuerzo de traccion.—Entendido ya cómo se hace uso de la fórmula anterior, debemos fijarnos en las cantidades que forman su segundo miembro, para deducir que tres de ellas pueden medirse inmediatamente en cualquiera locomotora, porque presentan valo-

res invariables; tales son: C , superficie del émbolo en contacto con el vapor; l , longitud del cilindro que recorre aquél en cada carrera; y c , desarrollo de la circunferencia de una de las ruedas motrices. Las otras dos, ó sea P , presión del vapor en el cilindro; y n , número de carreras que hace el émbolo en la unidad de tiempo, dependen tambien de las condiciones de la máquina; pero se diferencian de aquéllas en que sus valores pueden variar entre ciertos límites en una misma locomotora.

Variacion del esfuerzo de traccion por efecto de las variaciones que experimenten los elementos que sirven para determinarle.—Siendo el esfuerzo F igual al cociente que representa la ecuacion (b), es evidente que su valor será tanto mayor cuanto mayor sea el dividendo y cuanto menor sea el divisor. El primero tendrá un valor tanto más grande, cuanto mayores sean los factores P , C y l que le constituyen; y el segundo disminuirá evidentemente si disminuimos el valor c (1). En consecuencia se deduce, que cuanto mayores sean la presión P del vapor en

(1) Se prescinde por el momento de las variaciones de n , porque podría suprimirse del numerador y denominador dividiendo estos dos términos por dicha cantidad sin que alterase el cociente.

el cilindro, la superficie C del émbolo, y la longitud l de su carrera, mayor será también el valor del esfuerzo de tracción; y más ventajoso resultado se obtendría para el esfuerzo, si á la vez que aumentan dichos elementos, disminuyera c , desarrollo de la circunferencia de las ruedas motrices, ó lo que es lo mismo, cuanto menor fuera el radio de éstas. Si suponemos, por lo tanto, que se tienen dos locomotoras en las que el vapor llega á los cilindros con la misma presión P , producirá un esfuerzo mayor aquella en la que la superficie C y la carrera l del émbolo sean mayores, á la vez que tenga menor la circunferencia c , ó lo que es lo mismo, el radio de las ruedas motrices.

Influencia del radio de las ruedas motrices en el esfuerzo motor.—Fijándonos en este elemento, por ser el más visible de los tres que hemos considerado, puede decirse que será característico de las locomotoras destinadas á vencer grandes esfuerzos, el tener ruedas de pequeño diámetro, por cuanto la dimension de éste ejerce la influencia que se deja consignada. Esta consideracion es consecuencia legítima de la constancia del trabajo, y patentiza perfectamente la frase vulgar, en otro artículo citada, de que lo que se gana en fuerza se pierde en velocidad.

Dirijamos la vista á la ecuacion (a): en su primer miembro tenemos expresado el trabajo del vapor, es decir, el trabajo máximo que en la unidad de tiempo puede obtenerse de la locomotora; y en el segundo está escrito el trabajo desarrollado por el esfuerzo de traccion que actúa en el contacto de la llanta de la rueda con el carril, y que se obtiene multiplicando el esfuerzo F por el factor $\left(c \times \frac{n}{2}\right)$, que es el camino recorrido en la unidad de tiempo, ó lo que es lo mismo, la velocidad del tren. Para un valor de P determinado (supongamos, como se ha dicho, la máxima presión), el primer miembro será todo lo más grande que puede ser y ademas constante, por cuanto lo son todas las otras cantidades que en él entran; luego cuanto menor sea $\left(c \times \frac{n}{2}\right)$, que es la velocidad, mayor será F , y viceversa, porque sólo de este modo permanecerá constante su producto, que ha de ser igual al escrito en el primer miembro, cuyo valor es invariable desde el momento que se toma para P uno fijo y determinado. Ahora bien, al disminuir el radio de las ruedas motrices, disminuimos la circunferencia c , y con ella la velocidad $\left(c \times \frac{n}{2}\right)$; no es ex-

traño, por lo tanto, que con dicha disminucion se consiga aumentar el valor del esfuerzo F .

Esfuerzo resistente.—Este esfuerzo F es igual á la resistencia que hay que vencer, luego el máximo valor que se obtenga para aquél determinará tambien el mayor que haya de asignarse á ésta.

Si tomamos como punto de partida el valor de las resistencias, es evidente que el esfuerzo F , deducido de aquella ecuacion, ha de ser por lo ménos igual á estas resistencias, para que, vencíéndolas, se determine la marcha; pero como ha de ser menor que la adherencia, resultará por lo tanto, que una vez calculado por la fórmula el valor de F , comparándole con la resistencia y con la adherencia, podremos deducir si satisface la locomotora de que se disponga á las condiciones indispensables para la marcha.

En todo lo que precede hemos prescindido en cierto modo de las variaciones de la presión P y del número n , que representa el de carreras hechas por el émbolo en la unidad de tiempo. Estos elementos, sin embargo, forman parte importantísima del trabajo del vapor, y conviene estudiarlos con cuidado, pues en ellos se encuentra otro fundamento para la clasificacion de las locomotoras.

Influencia de la superficie de calefaccion y del tiro de la chimenea en el valor del trabajo del vapor.—En cada una de las carreras del émbolo se traslada de la caldera al cilindro una cantidad de vapor igual al volúmen de éste; y en consecuencia, en n carreras la cantidad de vapor gastada en la unidad de tiempo, será igual al producto de dicho volúmen por el número n , sólo en la hipótesis de que no haya expansion, es decir, que esté abierta la entrada del vapor por cada lado en el cilindro todo el tiempo que dura la carrera del émbolo. Se comprende, por lo tanto, que el número n dependerá de la cantidad de vapor que se produzca en la caldera, siendo tanto mayor cuanto más grande sea esta produccion. Y como ésta depende de la superficie de calefaccion y de las condiciones en que se realiza el tiro en la chimenea, es evidente que el trabajo del vapor, que se caracteriza por la presion, y el número de carreras depende de la rapidez con que se produce en la caldera á la presion necesaria.

Si se reflexiona un poco, puede deducirse que esta manera de apreciar el trabajo del vapor, se enlaza íntimamente con los conceptos expuestos al hablar del trabajo producido por el calor cuando, como sucede en la locomoto-

ra, se emplea en transformar el agua de su estado líquido al estado gaseoso ó de vapor.

Trabajo del vapor en funcion de la superficie de calefaccion.—Prescindiendo de estas delicadas cuanto provechosísimas investigaciones, que nos sacarían de los estrechos límites que definen el presente libro, aceptaremos como base práctica, para calcular el trabajo de la locomotora por medio de la superficie de calefaccion de la caldera, que dicho trabajo es proporcional á esta superficie, lo cual nos permite deducir aproximadamente que será tanto mayor el trabajo cuanto mayor sea dicha superficie.

En consecuencia, conviene aumentar la superficie de calefaccion para obtener efectos considerables de la locomotora, es decir, para alcanzar que el émbolo realice en la unidad de tiempo el número de carreras que corresponde á la velocidad por éste definido.

Tal es, en efecto, el papel que desempeña el número n , que en realidad define la velocidad. Fijémonos en el primer miembro de la ecuacion (a), y apreciaremos claramente tal concepto. En él, la cantidad $(l \times n)$ es el camino recorrido por el émbolo, en la unidad de tiempo, y del mismo modo que $(c \times \frac{n}{2})$ era la ve-

locidad de avance del tren por ser el camino recorrido por éste en la misma unidad, aquel producto es la velocidad del émbolo. Cuanto mayor sea n , mayores serán estas velocidades, siempre guardando la relacion expresada por sus valores; y como el que la máquina permita obtener un número más grande de carreras en la unidad de tiempo, depende de la rapidez de produccion del vapor á la presion necesaria, de aquí se deduce que el efecto de la máquina, en cuanto se refiere á este importantísimo elemento, se deriva de su capacidad de vaporizacion, ó lo que es lo mismo, de su superficie de calefaccion.

Influencia del número de carreras del émbolo en las diversas circunstancias que pueden considerarse.—Si suponemos que se pretendiera en una locomotora determinada, mantener constante por unidad de tiempo, un cierto número de carreras del émbolo, lo cual equivale á decir que marchára con la velocidad expresada por el valor de $(c \times \frac{n}{2})$, correspondiente al que se hubiera fijado para n ; es evidente que, no pudiendo variar el trabajo expresado por el primer miembro de la ecuacion (a), en la hipótesis de que se desarrolle completamente todo el que puede desarrollar la máquina: si se pretende

aumentar el valor n , es preciso, para que se conserve la invariabilidad del trabajo, que la presión P disminuya, por cuanto es el único elemento que puede variar en el citado primer miembro, si se trata de una locomotora determinada.

Podría preverse este resultado prescindiendo de la fórmula mecánica á que nos hemos referido, y recordando tan sólo lo dicho acerca del trabajo molecular del vapor. Si la caldera es capaz de producir una cantidad fija é invariable de vapor en la unidad de tiempo, en esta unidad, á lo sumo, podrá gastarse todo lo que se produzca; ahora bien, si el número de carreras que en este tiempo ha de hacer el émbolo es igual á cuatro, por ejemplo, y para cada una de ellas el volúmen ocupado por el vapor ha de ser igual al del cilindro, resultará claramente que el volúmen que ha ocupado aquella cantidad fija de vapor será igual á cuatro veces el del cilindro; pero si en vez de ser cuatro el número de carreras, fuera ocho en idéntica unidad, la misma cantidad de vapor habrá ocupado en este tiempo un volúmen igual á ocho veces el del cilindro, ó lo que es lo mismo, doble del anterior. Existe una *ley física*, llamada *de Mariotte*, comprobada por la experiencia, entre ciertos límites dentro de los que se hallan comprendi-

dos los casos que examinamos, y en virtud de la cual se establece que las presiones de una misma cantidad de vapor cuando ocupa diferentes volúmenes están en razon inversa de éstos; lo cual puede expresarse más claramente diciendo, que si cuando la cantidad de vapor ocupa un volumen igual á uno, la presion está representada por uno, cuando el volumen se aumenta hasta ser igual á dos veces el primero, la presion que tendrá la misma cantidad de vapor ocupando este espacio doble, será igual á la mitad de la que tuviera en el primero; si el volumen se aumenta hasta ser tres veces mayor, la presion será tres veces menor, y así sucesivamente. Aplicando esta ley al caso que examinábamos en la locomotora, evidentemente podremos deducir, que cuando el número de carreras del émbolo en la unidad de tiempo sea igual á ocho, la presion con que obre el vapor será la mitad de la que ejerza cuando las carreras sean en número de cuatro; porque en éste, el volumen ocupado por la misma cantidad de vapor, será la mitad del que ocuparia cuando las carreras fueran ocho.

Influencia del número de carreras del émbolo en el esfuerzo de traccion.— Obsérvese con detenimiento que el mayor ó menor valor de n parece que no influye en el correspondiente al

esfuerzo de traccion representado por el segundo miembro de la fórmula (b), una vez que puede considerarse suprimido por division en el numerador y denominador del quebrado; y en último término, aunque no se suprima, como multiplica á uno y otro término, el numerador se hará para un valor cualquiera de n tantas veces mayor como el denominador, y como por efecto de esto, el cociente no varía, pudiera creerse, como se ha dicho, que este elemento no produce alteracion alguna en el valor del esfuerzo de traccion, ó lo que es más claro, que éste tendrá el mismo valor, cualquiera que sea el de n , ó cualquiera que sea la velocidad de la marcha, puesto que ésta se halla definida por dicho elemento.

Esta consecuencia contradice por completo el demostrado principio, de que lo que se gana en velocidad se pierde en fuerza. Para destruir esta contradiccion, basta aplicar las consideraciones anteriores. Desde el momento que se da á n un cierto valor, resulta para P el correspondiente segun la ley física mencionada; por lo tanto, en la ecuacion (b) P tendrá un valor uno, por ejemplo, cuando n sea igual á uno: tendrá el valor un medio cuando n sea igual á dos; tendrá el valor un tercio cuando n sea igual á tres, y así sucesivamente. De modo, que si directamente

no influye en el valor de F , expresado por dicha ecuacion, ejerce una considerable influencia indirecta por cuanto hace variar el factor P . del numerador, cuyos aumentos y disminuciones se traducen en aumentos y disminuciones tambien del valor del cociente, ó sea del esfuerzo de traccion F .

Máximo de la presion y mínimo del número de carreras.—Pudiera creerse tambien como consecuencia de esta conclusion, que es dado aumentar cuanto se quiera el valor de P , disminuyendo á este fin el de n . Efectivamente, las disminuciones de éste producen aumento en P ; pero estos aumentos tienen un límite máximo, que á su vez determina el mínimo de n . Esto se comprenderá fácilmente, atendiendo á que la caldera de la locomotora ofrece una resistencia, y las condiciones debidas para que el vapor alcance una cierta presion, que, por término medio, llega á ser de unas ocho atmósferas; pero en manera alguna puede excederse este límite sin producir la rotura del aparato. Hay más todavía: aunque el vapor en la caldera alcance esta presion, en manera alguna puede contarse que llegue íntegra á los cilindros. Las pérdidas sufridas por el aumento de volumen al abrir los tubos de conduccion y extenderse por ellos el vapor, como igualmente

por la condensacion parcial, y la gastada en los rozamientos originados por su recorrido, reducen dicha presion limite á un 65 por 100 de su valor: es decir, que si P representa la presion máxima en la caldera, esta presion se reduce en los cilindros á 65 céntimos de P , ó lo que es lo mismo, estará representada por el producto $0,65 \times P$. Este valor, limite de la presion sustituido en la ecuacion (b), en lugar de P , nos dará el valor limite del esfuerzo de traccion que es capaz de producir la locomotora; y á este limite que será máximo corresponderá, como hemos dicho, el limite mínimo de la velocidad. Si conservando todos los demas valores ponemos en la ecuacion (b) en vez de P , el valor $0,65 P$ se obtendrá, para expresion del esfuerzo máximo verdadero, teniendo en cuenta las mencionadas pérdidas, el número de 2072,50 kilogramos.

Minimo de velocidad.—¿Cómo podria determinarse este limite mínimo de velocidad? Recordemos que el fundamento de que la velocidad sea un mínimo cuando el esfuerzo de traccion es un máximo, se encuentra en la constancia del trabajo que es capaz de producir la locomotora por sus condiciones especiales; y esta consideracion, unida á la de que dicho trabajo puede calcularse por la capacidad de vaporiza-

cion, ó sea por la extension de la superficie de calefaccion, nos permitirán deducir el límite inferior de la velocidad correspondiente al superior del esfuerzo de traccion en una locomotora determinada.

Todo está reducido á calcular el trabajo producido por una superficie de calefaccion determinada; porque si suponemos conocido dicho trabajo, como á él ha de ser igual el de la fuerza de traccion máxima, y éste está representado por el producto de esta fuerza por la velocidad, evidentemente se deducirá este elemento, dividiendo aquel trabajo por el esfuerzo máximo, cuyo valor hemos dicho cómo se calcula.

Queda consignado, que el trabajo de la máquina puede suponerse proporcional á la superficie de calefaccion; de modo que lo primero que es preciso conocer para calcular este trabajo es la extension de la mencionada superficie, y despues la cantidad de trabajo que proporciona cada metro cuadrado de esta superficie: repitiendo este número tantas veces como metros cuadrados tenga la superficie de calefaccion, obtendremos el trabajo total que se quiere,

Determinacion experimental del trabajo en relacion de la superficie de calefaccion.—Respecto á la cantidad de trabajo producido por

cada metro cuadrado, debe decirse, que su determinacion teórica entraña dificultades extraordinarias, y que por esta razon se ha procurado determinarle experimentalmente. El resultado obtenido en estas investigaciones se encuentra en la fórmula práctica de Mr. Laurent, y en virtud de la cual se admite que la cantidad de trabajo producida por cada metro de superficie de calefaccion es igual á diez caballos. Conociendo este número, y habiendo medido en la caldera la superficie de calefaccion, podria procederse á deducir el trabajo de la máquina, por la sencilla multiplicacion de el número de metros de dicha superficie por los diez caballos que se desarrollan por cada una.

Si de este modo se procediera, se cometeria un grave error; porque no es posible admitir que á cada uno de los metros cuadrados de la superficie de calefaccion corresponda diez caballos de vapor. Fácilmente se comprende esto, atendiendo á que en la parte de la superficie de la caldera próxima al lugar, la actividad de la vaporizacion y la temperatura del vapor han de ser superiores á los análogos elementos en el resto de dicha superficie, que recibe el calor, no directamente, sino por intermedio de los gases de la combustion que atraviesan los tubos de la caldera, y que obrarán con tanta ménos energía

para la trasformacion del agua en vapor, cuanto más distantes estén del hogar los puntos en que ejerzan su accion.

Puede en consecuencia deducirse y comprenderse claramente, que la proporcionalidad entre el trabajo y la superficie de calefaccion tiene existencia real, cuando por cada metro de esta superficie se dé lugar á la misma cantidad de trabajo; pero en manera alguna, cuando ésta sea distinta en los diferentes puntos de la caldera, como hemos dicho que se verifica en la locomotora.

El procedimiento que se ha empleado para destruir hasta donde es posible la dificultad que esta circunstancia lleva consigo en la resolucion del problema que tiene por objeto el cálculo del trabajo producido por la superficie de calefaccion, se reduce á determinar experimentalmente y con la aproximacion que se obtiene en este género de investigaciones, la relacion en que se hallan para los efectos del trabajo, un metro cuadrado de superficie en contacto con el hogar, y un metro cuadrado de la superficie no en contacto con el hogar, y constituida por los tubos cruzados por los gases de la combustion. De esta manera se ha deducido que puede apreciarse, por término medio, el efecto producido por cada uno de los metros cuadrados de los tubos,

en la tercera parte del producido por cada metro de superficie en contacto con el hogar, cuando aquéllos no tienen una longitud superior á cuatro metros.

Division en dos partes de la superficie de calefaccion.—Por lo tanto, debe considerarse dividida en dos partes la superficie de calefaccion total: una constituida por la superficie directamente en contacto con el hogar, que llamaremos S' , y otra por la de los tubos, que designaremos S'' . Si se designa tambien por S la superficie total, es evidente que para los efectos del trabajo, ó bien para factor, que multiplicado por diez caballos nos dé dicho trabajo, deberá tomarse una superficie igual á S' (puesto que por cada uno de estos metros cuadrados se produce un trabajo de diez caballos), mas $\frac{S''}{3}$ (una vez que cada uno de los metros cuadrados de esta superficie produce tan solo un tercio del trabajo, diez caballos originado por cada uno de aquéllos).

Superficie de calefaccion que debe tomarse para el cálculo del trabajo.—La expresion de la superficie que debe tomarse para el cálculo del trabajo será

$$S' + \frac{S''}{3}$$

y la expresion del trabajo podrá escribirse

$$\left(S' + \frac{S''}{3} \right) \times \text{Diez caballos};$$

y como este trabajo ha de ser igual al del esfuerzo de traccion, resulta que

$$\left(S' + \frac{S''}{3} \right) \times \text{Diez caballos} = F \times \left(c \times \frac{n}{2} \right)$$

Superficie
de calefaccion.

Trabajo por
unidad de
superficie de
calefaccion.

Esfuerzo
de
traccion. Velocidad
del
tren.

Trabajo de la máquina expresado
en función de la superficie de
calefaccion.

Trabajo del esfuerzo de
traccion.

En esta ecuacion se observa que el producto de F por $\left(c \times \frac{n}{2} \right)$ es igual al primer miembro trabajo de la máquina, luego el factor $\left(c \times \frac{n}{2} \right)$ de aquél producto será evidentemente igual al cociente de dividir dicho primer miembro por el otro factor F , lo cual puede escribirse bajo esta forma:

$$\frac{\left(S' + \frac{S''}{3} \right) \times \text{Diez caballos}}{F} = \left(c \times \frac{n}{2} \right).$$

Velocidad del
tren.

En los dos términos del quebrado podremos sustituir por S' y S'' sus valores medidos en la locomotora, y por F el calculado por la fórmula

(b) cuando en ella se ha sustituido P por $0,65 P$, y efectuando el cociente se deducirá el valor mínimo de la velocidad.

Ejemplo.—Tomando para $\left(S' + \frac{S''}{3} \right)$ el valor 32 metros cuadrados; para F el de 2072,50 kilogramos deducido como máximo del esfuerzo de tracción, y en vez de diez caballos, su valor 750 kilogramos (puesto que cada caballo equivale á 75), se podrá escribir dicha ecuacion de esta manera:

$$\text{Velocidad} \left. \begin{array}{l} \\ \text{mínima.} \end{array} \right\} = \frac{32 \times 750}{2072,50} = \frac{24.000}{2072,50} = 11\text{m},58 \text{ por segundo}$$

Como el segundo está contenido en la hora 3.600 veces, resulta, tomando como unidad este tiempo, una velocidad de 41.688 metros, ó sean 41^{kil},688.

Elementos fundamentales para la clasificación de locomotoras.—Resumiendo todo lo dicho, pueden consignarse como elementos característicos que sirven de fundamento á la clasificación de los diversos tipos de locomotoras: 1.º El peso que insiste sobre las ruedas motrices, que sirve para definir el valor de la adherencia, y que por esto se llama peso adherente; y 2.º La superficie de calefacción que sirve para determinar los valores correlativos de la presión del vapor y de la velocidad, cuyas va-

riaciones pueden ser tanto más amplias cuanto más grande sea dicha superficie.

El peso adherente marca el límite superior del esfuerzo de tracción, y la superficie de calefacción define en realidad el límite inferior de dicho esfuerzo con relación á las resistencias que se han de vencer en las condiciones correspondientes á la marcha.

Un gran peso adherente permite emplear en buenas condiciones un gran esfuerzo de tracción: y una extensa superficie de calefacción proporciona el medio de obtener este esfuerzo en el mecanismo de la locomotora.

Casos que pueden presentarse en la marcha de un tren y tipos de locomotoras.—Los problemas que pueden presentarse en la marcha de un tren, es dado reducirlos á tres generales: 1.º, vencer una gran resistencia con una velocidad relativamente pequeña; 2.º, vencer una resistencia media con una velocidad media también; y 3.º, vencer una resistencia relativamente pequeña con una gran velocidad. El primer caso se presenta en el transporte exclusivo de mercancías; el segundo, en el de mercancías y viajeros; y el tercero, en el de viajeros exclusivamente. A ellos corresponden tres tipos de locomotoras, que se designan respectivamente por los objetos á que satisfacen: locomotora de mercancías,

locomotora mixta y locomotora de viajeros.

La primera y la última, en lo que atañe al límite inferior del esfuerzo de tracción, con relación á las resistencias, exigen una gran superficie de calefacción, destinada en la de mercancías á obtener una gran presión, y en la de viajeros para realizar la gran velocidad.

Consiguiendo una considerable cantidad de vapor en la unidad de tiempo, por medio de la extensa superficie de calefacción, ya sabemos que el elemento que hace preponderante el esfuerzo de tracción ó la velocidad, no es otro que el número de carreras del émbolo determinado por la amplitud del diámetro de las ruedas. Dedúcese, en consecuencia, que cuando se quiera conseguir que el esfuerzo de tracción sea muy grande, como ha de verificarse en la máquina de mercancías, las ruedas motrices deben ser de pequeño radio; y cuando lo que se quiera alcanzar es el predominio de la velocidad, deben disponerse de gran radio las ruedas motrices.

Esto en lo que atañe á la parte principal del mecanismo de la locomotora; pues dicho está que deben disponerse también con las convenientes dimensiones las demás partes, que según hemos expuesto al estudiar la fórmula que da el esfuerzo de tracción, concurren á aumentar el valor de éste.

Cuando el esfuerzo de traccion que puede desarrollar la locomotora es grande, grande debe ser tambien la adherencia; por lo tanto, es preciso aumentar el peso que insiste sobre las ruedas motrices, como único medio adecuado á dicho fin. No es posible, sin embargo, disponer convenientemente todo el peso actuando sobre un solo par de ruedas, ni, aunque esto fuera posible, se deberia adoptar dicha disposicion, porque aquel peso acaso excediera las condiciones de resistencia del material que forma las ruedas y los carriles.

Para armonizar estas circunstancias en debida escala, se reparte el peso de la locomotora sobre tres, cuatro ó más pares de ruedas, que enlazadas todas por bielas y manivelas, funcionarán como ruedas motrices.

Máquinas de gran velocidad.—Para la máquina de gran velocidad no es en grado tan extremo indispensable la adherencia, una vez que por la preponderancia de aquel elemento se disminuye el esfuerzo de traccion, y en consecuencia la reaccion proporcionada por el peso adherente, como ineludible para verificar la marcha. El peso de la máquina insistirá tambien sobre tres pares de ruedas, pero sólo la parte que insiste sobre uno de ellos se aprovechará para producir la adherencia, y únicamen-

te las ruedas montadas en él serán motrices y deberán tener el gran radio determinado por la magnitud de la velocidad que haya de conseguirse con la máquina.

Máquinas de mercancías.—Una gran caldera y varios pares de ruedas de pequeño radio, enlazadas por medio de manivelas y bielas á la varilla del émbolo, acusarán al exterior la considerable potencia de la máquina destinada al transporte exclusivo de mercancías con velocidad relativamente pequeña.

Máquinas de viajeros.—Una gran caldera también, dos pares de ruedas de pequeño radio y otro par de grandes dimensiones, relacionado por la manivela y biela á la varilla del émbolo, patentizará la rapidez que es posible conseguir con la máquina destinada al transporte exclusivo de viajeros.

Máquinas mixtas.—Sin gran dificultad puede comprenderse que el tipo medio destinado á trenes mixtos, ó lo que es lo mismo, para el transporte de viajeros y mercancías, ha de presentar caracteres intermedios también. Una caldera de convenientes proporciones, un par de ruedas de pequeño radio sin enlace alguno, y otros dos con ruedas de mayores radios, y enlazados ambos por manivelas y bielas á la varilla del émbolo, definen la máquina de

que se trata. El radio de las ruedas acopladas, más grande que el de las correspondientes á las máquinas de mercancías, indica la mayor velocidad que puede conseguirse de la que se describe con relacion á aquéllas; y la circunstancia de tener dos pares de ruedas de este radio mayor, enlazadas para desempeñar el servicio de ruedas motrices, indica á su vez que el peso adherente es mayor en esta máquina que en la de viajeros, y por lo tanto tambien puede ser mayor el esfuerzo de traccion que se desarrolle en el mecanismo de la locomotora, á igualdad de dimensiones, en las restantes partes del mecanismo.

No hay para qué decir que estos tres tipos generales presentan en la práctica grandes variedades debidas á las diferentes dimensiones que se den á los distintos órganos á fin de adecuar las locomotoras á los multiplicados y especiales servicios que han de realizar.

Elementos característicos de las locomotoras de tres ejes, empleadas en Francia por la Compañía París-Lyon-Mediterráneo.—Con objeto de que se forme idea de la potencia y condiciones de estos tres tipos generales, se presentan reunidos en el siguiente cuadro los elementos característicos de las locomotoras de tres ejes, empleadas en Francia por la Compañía de París-Lyon-Mediterráneo:

MÁQUINAS.

ELEMENTOS.

	Viajeros.	Mixtas.	Mercañías.
Peso de la máquina.	33 toneladas.	33 toneladas.	33 toneladas.
Disposicion de las ruedas.	Sin enlace.	2 pares enlazadas.	3 pares enlazadas.
Peso que insiste sobre las ruedas motrices, ó lo que es lo mismo, peso que produce la adherencia.	11 toneladas.	22 toneladas.	33,60 toneladas.
Presion á que puede producirse el vapor en la caldera.	8 atmósferas.	8 atmósferas.	9 atmósferas.
Superficie de calefaccion medida en la caldera.	35 metros cuadrs.	35 metros cuadrs.	32,20 met. cuads.
Superficie de calefaccion reducida.	35 metros cuadrs.	41 metros cuadrs.	46 metros cuadrs.
Diametro de las ruedas motrices.	2 m,30.	1 m 60.	1 m,30.
Diámetro del cilindro.	0 m,40.	0 m,42.	0 m,45.
Carrera del émbolo.	0 m,55.	0 m,56.	0 m,55.
Resultados que pueden obtenerse, y sirven para aplicar los diversos tipos á las necesidades de los servicios.			
Presion máxima.	72 331 kilos.	72 331 k.	82 664 k.
Límite del esfuerzo de traccion definido por la adherencia.	1 540 k. á 1 870 k.	3 080 k. á 3 740 k.	4 701 k. á 5 712 k.
	Estas variaciones son consecuencia de las variaciones del coeficiente de rozamiento, que corresponden á los diversos estados de humedad de los carriles.		
Trabajo deducido de la superficie de calefaccion reducida.	350 caballos.	350 caballos.	322 caballos.
Máximo del esfuerzo de traccion.	1 800 kilogramos	2 940 kilogramos	5 400 kilogramos.
Mínimo de la velocidad.	52 kilómetros por hora.	32 kilómetros por hora.	16 kilómetros por hora.

ÍNDICE.

	<u>Fógs.</u>
DEDICATORIA DEL EDITOR.....	3
— DEL AUTOR.....	5
INTRODUCCION.....	7

CAPITULO I.

Estudio de conjunto.

ARTÍCULO I.—Descripción general de un ferrocarril.....	11
ART. II. — Ventaja de los caminos de hierro sobre los demás medios de transporte.....	25
ART. III.—Bosquejo histórico acerca del establecimiento de los ferrocarriles.....	40

CAPITULO II.

Problema científico que entraña la construcción de un ferrocarril.

ARTÍCULO I.—Consideraciones generales.—Notiones fundamentales.....	61
--	----

ART. II. — Influencia de los diversos elementos del camino en el transporte.—Pendientes.....	82
ART. III.—Influencia de los diversos elementos del camino en el transporte.—Curvas.....	106
ART. IV. — Esfuerzo motor.....	133
ART. V. — Locomotora.....	163
ART. VI.—Trabajo de la locomotora.—Diversos tipos de locomotoras...	206

CATÁLOGO DE OBRAS PUBLICADAS

Sección 1.^a—Artes y Oficios.

- Manual de Metalúrgia, dos tomos, con grabados, por D. Luis Barinaga, Ingeniero de Minas.
- del Fundidor de metales, un tomo, con grabados, por D. Ernesto Bergue, Ingeniero.
 - del Albañil, un tomo, con grabados, por D. Ricardo Marcos y Bausá, Arquitecto (declarado de utilidad).
 - de Música, un tomo, por D. M. Blazquez de Villacampa.
 - de Industrias químicas inorgánicas, dos tomos, con grabados, por D. F. Balaguer y Primo, Ingeniero Industrial, Químico y Mecánico.
 - del Conductor de máquinas tipográficas, dos tomos, con grabados, por M. L. Monet.
 - de Galvanoplastia y Estereotipia, con grabados, por el mismo autor.
 - de Litografía, un tomo, con grabados, por D. Justo Zapater y Jareño y D. José García Alcaráz, Grabadores.
 - de Cerámica, tomo I, con grabados, por D. Manuel Piñon, Director de la fábrica de mosaicos «La Alcuadiana».

Sección 2.^a—Agricultura, Cultivo y Ganadería.

- Manual de Cultivos Agrícolas, por D. Eugenio Plá y Rave, Ingeniero de Montes (declarado de texto).
- de Cultivos de árboles frutales y de adorno un tomo, por el mismo autor.
 - de Cultivo de árboles forestales, un tomo, por el mismo autor.
 - de Sericicultura, un tomo, con grabados, por don José Galante.
 - de Aguas y Riegos, un tomo, por D. Rafael Laguna.
 - de Agronomía, un tomo, por D. Luis Alvarez Alvistur.

Sección 3.^a—Conocimientos útiles.

- Manual de Física popular, un tomo, con grabados, por D. Gumersindo Vicuña, Ingeniero Industrial y Catedrático.
- de Astronomía popular, un tomo, con grabados, por D. Alberto Bosch, Ingeniero.
 - de Derecho Administrativo popular, un tomo, por D. Francisco Cañamaque.
 - de Química orgánica, un tomo, con grabados, por D. Gabriel de la Puerta, Catedrático (declarado de utilidad).
 - de Mecánica popular, un tomo con grabados, por

D. Tomás Ariño, Catedrático (declarado de utilidad),
Manual de Extradiciones, un tomo, por D. Rafael
García Santistéban.

— de Mineralogía, un tomo, con grabados, por D. Juan
José Muñoz.

— de Electricidad popular, un tomo, con grabados,
por D. José Casas.

Sección 4.^a—Historia.

Guadalete y Covadonga, un tomo, por D. Eusebio
Martínez de Velasco.

León y Castilla (*Páginas de la historia patria*), un tomo,
por el mismo.

Sección 5.^a—Religion.

Año cristiano, novísima versión de la obra del P. Juan
Croisset, con el *Santoral Español*. Meses de Enero,
Febrero, Marzo, Abril y Mayo, por D. A. Bravo y
Tudela. (Con la licencia Eclesiástica).

Sección 6.^a—Recreativa.

Las Frases célebres, un tomo, por D. Felipe Picatoste.
Novisimoromancero español (inédito), tres tomos.

El Libro de la familia, un tomo, por D. Teodoro Gue-
rrero.

Romancero de Zamora, un tomo, formado por D. Ce-
sáreo Fernández Duro.

OBRAS EN PRENSA.

Manual del Vidriero, Plomero y Hojalatero, por
D. Manuel González y Martí, Ingeniero de Cami-
nos, Canales y Puertos.

— de Geología, aplicada á la Agricultura y á las
Artes industriales, con grabados, por D. Juan J.
Muñoz.

— de Entomología, tomo I, con grabados, por don
Javier Hoceja y Rosillo, Ingeniero de Montes.

Los Ferro-carriles, tomo I por el Excmo. Sr. D. Euse-
bio Page, Ingeniero de Caminos, Canales y
Puertos.

Año cristiano, meses de Junio y Julio.

Las Pequeñas industrias, tomo I, por D. Gabriel Gi-
roni, Ingeniero industrial.

A los suscritores que lo son á las seis secciones de
la BIBLIOTECA les sirve *gratis* la empresa la preciosa
y utilísima *Revista Popular de Conocimientos Útiles*-
única de su género que se publica en España.

100 April 2

OBRAS PUBLICADAS

Sección 1.^a—Artes y Oficios.

- Manual de Metalurgia, dos tomos, con grabados, por don Luis Barinaga, Ingeniero de Minas.
- del Fundidor de metales, un tomo, con grab., por D. Ernesto Bergue, Ingeniero.
- del Albañil, un tomo, con grab., por D. Ricardo M. y Bausá, Arquitecto (declarado de utilidad).
- de Música, un tomo, por D. M. Blazquez de Villacampa.
- de Industrias químicas inorgánicas, dos tomos, con grab., por D. F. Balaguer y Primo, Ingeniero.
- del Conductor de máquinas tipográficas, dos tomos con grabados, por M. L. Monet.
- de Galvanoplastia y Estereotipia, con grabados, por el mismo autor.
- de Litografía, un tomo, con grabados, por D. Justo Zapater y Jareño y D. José García Alcaráz, Grabadores.
- de Cerámica, tomo I, con grab., por D. Manuel Piñón.

Sección 2.^a—Agricultura, Cultivo y Ganadería.

- Manual de Cultivos Agrícolas, por D. Eugenio Plá Rave, Ingeniero de Montes (declarado de texto).
- de Cultivos de árboles frutales y de adorno, tomo, por el mismo autor.
- de Cultivo de árboles forestales, un tomo, por el mismo autor.
- de Sericicultura, un t., con grab., por D. J. Galante.
- de Aguas y Riegos, por D. Rafael Laguna, un tomo.
- de Agronomía, un tomo, por D. Luis Alvarez Alvistur.

Sección 3.^a—Conocimientos útiles.

- Manual de Física popular, un tomo, con grab., por don Gumersindo Vicuña, Ingeniero Industrial y Catedrático.
- de Astronomía popular, un tomo, con grab., por don Alberto Bosch, Ingeniero.
- de Derecho administrativo popular, un tomo, por D. F. Cañamaque.
- de Química orgánica, un tomo, con grab., por don G. de la Puerta, Catedrático (declarado de utilidad).
- de Mecánica popular, un tomo, con grab., por don Tomás Ariño, Catedrático (declarado de utilidad).
- de Extradiciones, por D. Rafael García Santisteban.
- de Mineralogía, un tomo, con grab., por D. J. J. J.
- de Electricidad popular, con grab., por D. J. C.

Sección 4.^a—Historia.

- Guadalete y Covadonga, por D. Eusebio M. de Velasco.
- Leon y Castilla (*Páginas de la historia patria*), por el mismo.

Sección 5.^a—Religion.

- Año Cristiano, novísima versión de la obra del P. J. Croisset, con el *Santoral Español*. Enero, Febrero, Marzo, Abril y Mayo, por D. A. Bravo y Tudela. (Con la licencia Ec.^{ca})

Sección 6.^a—Recreativa.

- Las Frases célebres, un tomo, por D. Felipe Picator.
- Novísimo Romancero español (inédito), tres tomos.
- El Libro de la familia, un tomo, por D. Teodoro.
- Romancero de Zamora, un tomo, por D. C. I.







4

4666

(1)