

NOTA

ACERCA DE LAS PROPORCIONES DE LAS MÁQUINAS LOCOMOTORAS.

No hace muchos años que trataban de resolverse las cuestiones inherentes al establecimiento de los caminos de hierro, siguiendo una marcha muy distinta de la que se sigue hoy día. Cuando la Inglaterra y la Bélgica empezaron á tender por su territorio á principios de este siglo sus vastas redes de caminos de hierro, se miraba como una cosa imposible, como una dificultad insuperable el hacer que las locomotoras por sí solas pudiesen elevar los trenes que arrastraban sobre pendientes cualesquiera. Los que pensaban en esto, lo hacían solo por complacerse en calcular los inmensos resultados que surgirían de la realización de una idea, que consideraban como una utopía. De aquí resultó lo que naturalmente debía suceder. «Si una locomotora no puede subir pendientes, se dijeron, es necesario allanarle el camino,» y entonces se vió á los trenes penetrar en inmensos túneles, correr entre los escarpados taludes de profundas cortaduras, y cruzarse sobre elevadísimos terraplenes.

No fue esto todo, viendo los hombres científicos que languidecía el espíritu de asociación, y que los gobiernos retrocedían ante los inmensos gastos que traía consigo el establecimiento de un camino de hierro, consideraron á la locomotora como incapaz de satisfacer á las condiciones que las circunstancias exigían, y agotaron todos los esfuerzos de su imaginación buscando nuevos sistemas que reemplazasen con ventaja al de locomoción que empezaba, y que apenas naciente, apenas estudiado, ya se consideraba, si no como nulo, por lo menos como impotente. Muchos sistemas se descubrieron, que mas ó menos ingeniosos unos, mas ó menos aceptables otros, ninguno de ellos produjo los resultados que esperaban sus autores. Pero al mismo tiempo otros hombres, ó bien porque no eran adictos á las ideas de innovación, ó bien porque adivinaban en la locomotora los elementos suficientes para las necesidades que debía satisfacer, se propusieron mejorarla hasta tal punto, que bastase por sí sola para elevarse aislada, sin ayuda de medios, siempre costosos é incómodos, por las mas rápidas pendientes.

Aquí empieza la segunda época; la época en que se va marchando por el camino directo; la época en cuyo término se verá trazar un camino de hierro bajo las mismas bases que un camino ordinario, y en la que no se podrán contemplar esas construcciones monumentales que se admiran hoy en los caminos de hierro ya construidos, pero en la

que se tocará en todas las naciones la mejora de los intereses materiales, porque estas naciones, antes aterradas por los inmensos sacrificios que debía costarles el establecimiento de un camino de hierro, cubrirán entonces con ellos sus territorios.

Estos resultados se obtendrán con la perfección de las máquinas, perfección que depende principalmente de la buena combinación de sus partes. Una determinación exacta de sus proporciones para cada caso particular, hará de las locomotoras máquinas de una potencia inconcebible. Esto corresponde realmente á la teoría; pero desgraciadamente ésta se encuentra en un atraso lamentable. Desde que existen las máquinas de vapor, se formó una teoría fundada en ideas erróneas, y que por lo tanto, sino hizo retroceder, no hizo avanzar tampoco la cuestión: despues Mr. Pambour ha fundado la suya sobre principios exactos ciertamente, pero que no podemos menos de confesar que han dado resultados incompletos. La práctica en esta ocasión, como en otras muchas, ha dejado atras á la teoría; tal vez se necesite un genio que de un sólo salto haga que esta se iguale con aquella, y aun que pasándola vaya á esperarla al fin de su camino.

Mientras esto sucede, es necesario conformarse con lo que se ha hecho hasta el día, pero tambien es necesario que en las escasas obras que se escriben con este objeto, no se viertan ideas erróneas, ni mucho menos se deduzcan consecuencias inexactas, porque ahora que estas obras se acogen con la misma ansiedad que se esperan, puede esto tener fatales consecuencias. Toda obra que se escriba sobre teoría de locomotoras se crea, por decirlo así, al publicarse, una gran responsabilidad.

Una de estas ideas erróneas, una de estas consecuencias mal deducidas, que hemos observado en la teoría de máquinas locomotoras de Mr. Pambour, nos ha movido á escribir este artículo. Con esto no queremos atacar de ningún modo la reputación de Mr. Pambour, que tan alto puesto ocupa en el mundo científico y tan justamente merecido, por haber sido el primero que ha iluminado con ideas claras y exactas el caos en que estaba envuelta la teoría de las máquinas de vapor, por haber construido un sólido cimiento sobre el cual veremos tal vez elevarse un nuevo monumento á la ciencia.

Entremos en la cuestión.

Suponemos en nuestros lectores los conocimientos necesarios de la teoría que nos va á ocupar, y establecemos desde luego la ecuación general que deduce Mr. Pambour, y que unida con la relación en que espresa que las vaporizaciones están en razón de las raíces cuartas de las velocidades, son las

Madrid 15 de setiembre de 1853.

únicas ecuaciones que hasta ahora nos presenta la teoría, para resolver los problemas que pueden ocurrir en el establecimiento de las locomotoras.

La primera de estas ecuaciones que es

$$M = A \frac{S}{v} - \frac{d^2 l}{D} [A' + A''v] - A'''v + A''''$$

está basada sobre ideas claras y principios exactos: no respondemos de la exactitud de la segunda, que tampoco Mr. Pambour considera como precisa; lo que si es cierto y está probado por numerosas experiencias, es que las vaporizaciones varían en el mismo sentido que las velocidades.

Con el solo objeto de simplificar, hemos representado por A, A', A'', A''' el conjunto de cantidades que no hay que tener en consideracion y solo hemos dejado esplicitas la carga de la máquina M , la vaporizacion S , la velocidad v , el diámetro del cilindro d , el de las ruedas motrices D y la carrera l del cilindro.

Mr. Pambour reduce el cálculo de las locomotoras á dos problemas principales que espresa así: 1.º dada la máquina ya construida, determinar los efectos que podrá producir: 2.º dados los efectos que quieren obtenerse, deducir las proporciones que se deberán dar á la máquina para obtenerlos. En este segundo problema considera varias cuestiones, entre las cuales hay una en que trata de ver por la ecuacion que dejamos establecida, cuáles son las relaciones que ligan á la carga M con las distintas cantidades S, v, d, l y D que entran en dicha expresion. Deduce de ella con respecto á la vaporizacion que, cuanto mayor sea esta, suponiendo constantes las demas cantidades, mayor será la carga que puede arrastrar la máquina. Estamos conformes: la ecuacion, en la que S entra en un termino positivo, lo espresa claramente. Pero en seguida suponiendo variables las cantidades l, d , y D , dice así: «y si se quiere que la máquina tire de una carga considerable con una velocidad dada, es necesario darle un cilindro grande, una carrera muy larga, y ruedas de un pequeño diámetro.» ¿De dónde deduce esto Mr. Pambour? Si examinamos la ecuacion, veremos en ella que á causa de entrar d, l y D en un término negativo, las consecuencias son contrarias del todo á las que hemos citado, y que deberíamos decir: «y si se quiere que la máquina tire de una carga considerable con una velocidad dada, es necesario darle un cilindro pequeño, una carrera muy pequeña y ruedas de un gran diámetro.»

Pero hasta aqui nada hemos probado, porque como se nos puede decir muy bien, es muy posible que las primeras consecuencias sean ciertas, y que

ó bien la ecuacion no lo sea, ó bien las cantidades S y v sean funciones de las d, l y D , y tengan valores tales, que sustituidos en la ecuacion hagan positivo el término en que se encuentren. Pero vamos á deducir á priori la consecuencia que hemos establecido contraria á la de Mr. Pambour y entonces habremos probado tres cosas: 1.º la inexactitud de esta: 2.º que la ecuacion puede ser cierta, lo que creemos así atendiendo á la claridad y á la precision de los principios en que se funda; y 3.º que aunque existan otras relaciones entre las cantidades S, v, d, l y D , estas relaciones no pueden hacer positivo el conjunto de los términos en que entren d, l y D .

Para hacer ver á priori las consecuencias que hemos anticipado fundándonos en la ecuacion anterior, consideraremos separadamente las tres cantidades d, l y D , y probaremos en primer lugar que cuanto mayor sea la carga, menor debe ser el diámetro d del cilindro, suponiendo que son constantes las demas cantidades.

Mr. Pambour trata de probar á priori lo contrario, y para esto dice: «cuanto mayor sea el diámetro del cilindro, mayor será el esfuerzo ejercido sobre el piston para una presión dada.» Es decir, que si tenemos dos cilindros uno mayor que otro, y hacemos que el vapor se eleve en ambos al mismo grado de presión, esta será mayor sobre el piston del primero que sobre el del segundo. Pero suponer que el vapor queda con igual presión en dos cilindros de desigual capacidad, ¿no es suponer que varía la vaporizacion? Y esta variacion, ¿no es contra lo que ha establecido M. Pambour? Vemos, pues, que tan inexacta es la consecuencia sacada directamente de la ecuacion, como el razonamiento con que quiere probar á priori su exactitud.

Es muy cierto que suponiendo la velocidad constante y la vaporizacion invariable, cuanto mayor sea el diámetro del piston, mayor será el número de unidades superficiales sobre que el vapor actúa, pero tambien es cierto que la presión por unidad habrá disminuido, y para fijar definitivamente el resultado, será necesario ver cuál de las dos presiones totales será mayor, si la que actúa en el cilindro de mayor ó en el de menor capacidad.

Como hemos supuesto constantes las carreras de los pistones para ambos cilindros, es claro que los volúmenes de estos serán como las areas de sus secciones, y podremos establecer que

$$\frac{V}{V'} = \frac{\frac{1}{4} \pi d^2}{\frac{1}{4} \pi d'^2} \quad (1)$$

siendo V y d el volumen y el diámetro del cilindro mayor y V' y d' el volumen y el diámetro del me-

nor. Es un principio que los volúmenes absolutos son como los volúmenes específicos; es decir que

$$\frac{V}{V'} = \frac{u}{u'}$$

siendo u y u' dichos volúmenes; pero también sabemos que el volumen específico es igual á una expresión de la forma

$$\frac{1}{C + C'P}$$

en la que C y C' son constantes y P es la presión por unidad de superficie relativa al volumen específico de que se trata; podremos, pues, poner en vez de $\frac{u}{u'}$ su igual

$$\frac{\frac{1}{C + C'P}}{\frac{1}{C + C'P'}};$$

y por consiguiente

$$\frac{V}{V'} = \frac{C + C'P'}{C + C'P};$$

y en virtud de la ecuación (1)

$$\frac{\frac{1}{4}\pi d^2}{\frac{1}{4}\pi d'^2} = \frac{C + C'P'}{C + C'P};$$

quitando denominadores y sacando C y C' por factores comunes resulta

$$C[\frac{1}{4}\pi d^2 - \frac{1}{4}\pi d'^2] = C'[P'\frac{1}{4}\pi d^2 - P\frac{1}{4}\pi d'^2].$$

Por hipótesis $\frac{1}{4}\pi d^2$ es mayor que $\frac{1}{4}\pi d'^2$; luego siendo el primer miembro positivo, para que también lo sea el segundo es necesario que $P'\frac{1}{4}\pi d^2$ sea mayor que $P\frac{1}{4}\pi d'^2$; pero la presión P' y la presión P multiplicadas por las áreas de sus pistones correspondientes, son las presiones totales ejercidas sobre ellos; luego á mayor área ó diámetro corresponde menor presión total y vice-versa.

Demostrada ya directamente la primera parte de la cuestión que nos ocupa, pasemos á las dos últimas; es decir, supongamos que quedan constantes los diámetros de la rueda y del cilindro, y veamos cómo varía la carga de la máquina con la carrera l , y supongamos que queda constante esta carrera y el diámetro del cilindro, para ver como varía con la carga el diámetro de la rueda.

Mr. Pambour, lo mismo que en el caso que anteriormente hemos considerado, quiere demostrar á la vez y por el raciocinio, las dos últimas partes de su consecuencia, y dice: «La potencia del vapor actúa á la estremidad del radio de la manivela que es igual á la semi-carrera del piston, mientras que la resistencia producida por la carga actúa á la estremidad del radio de la rueda; se sabe que un esfuerzo produce un efecto tanto mayor

cuanto mayor es el brazo de palanca sobre que actúa; luego mientras mas considerable sea la carrera del piston con respecto al diámetro de la rueda, mayor será el exceso de la potencia sobre la resistencia.» Este razonamiento deslumbra á primera vista; ¿pero es exacto? Vamos por partes. Es muy cierto que cuanto mayor es la carrera del piston, mayor es la manivela y mayor el esfuerzo que puede producir el vapor encerrado en el cilindro; ¿pero no es también cierto que aumentando la carrera aumenta la capacidad del cilindro, y por lo tanto quedando constante la cantidad de vapor que se produce, disminuirá el esfuerzo que este ejerce sobre el piston? Y si bien es cierto que disminuyendo el diámetro de la rueda se disminuye el brazo de palanca de la resistencia, ¿no lo es también que esta disminucion exige que la rueda dé mayor número de vueltas puesto que la velocidad se supone constante, y que por lo tanto tenga la misma cantidad de vapor que llenar mas cilindros en el mismo tiempo, lo que disminuirá su tensión?

Vemos, pues, que la cuestión no queda decidida por el anterior razonamiento de Mr. Pambour, y vamos á probar por consideraciones análogas á las que ya hemos espuesto, que las dos últimas partes de su consecuencia son tan inexactas como la primera.

Supongamos que quedando los mismos el diámetro de la rueda y el del cilindro, varía la carrera con la carga. Los volúmenes de los cilindros serán como las carreras, es decir

$$\frac{V}{V'} = \frac{l}{l'}$$

y poniendo por $\frac{V}{V'}$ el valor que hemos determinado ya, obtendremos

$$\frac{C + C'P'}{C + C'P} = \frac{l}{l'};$$

quitando denominadores y sacando C y C' factores comunes, resulta

$$C(l' - l) = C'(Pl - P'l').$$

Si suponemos la carrera l' mayor que la l , vemos que Pl deberá ser mayor que $P'l'$, y por tanto que $Pl\frac{1}{4}\pi d^2$ mayor que $P'l'\frac{1}{4}\pi d^2$. Ahora bien; $P\frac{1}{4}\pi d^2$ y $P'\frac{1}{4}\pi d^2$ son las presiones totales del vapor sobre los pistones, luego dichas presiones multiplicadas respectivamente por las carreras l y l' , son los trabajos que puede producir el vapor. El trabajo $Pl\frac{1}{4}\pi d^2$ lo podemos igualar á una carga desconocida X multiplicada por la velocidad de la máquina, y el $P'l'\frac{1}{4}\pi d^2$ á otra carga X' multiplicada por la misma velocidad que por hipótesis es constante, luego

$$P.l. \frac{1}{4} \pi d^2 = Xv \quad y$$

$$P.l' \frac{1}{4} \pi d^2 = X'v.$$

Hemos deducido anteriormente que $P.l. \frac{1}{4} \pi d^2$ es mayor que $P.l' \frac{1}{4} \pi d^2$ de donde X mayor que X' , luego cuando l' mayor que l , la carga X' que la máquina puede arrastrar con una velocidad dada, es menor que la que arrastraría con la carrera menor l .

La misma marcha que hemos seguido en esta segunda parte de la cuestión, seguiríamos para hacer ver que cuanto mayor es el diámetro de la rueda, mayor es la carga que puede llevar la máquina, y solamente habría que introducir en las ecuaciones anteriores, en vez de las carreras, las velocidades del piston que en este caso serian variables con las ruedas, quedando sin embargo constante como siempre la velocidad de la máquina.

Queda, pues, demostrada directamente la consecuencia que hemos deducido de la ecuación general y que espresamos, diciendo: «Si se quiere que la máquina arrastre una carga considerable con una velocidad dada, es necesario darle un cilindro pequeño, una carrera muy pequeña, y ruedas de un gran diámetro.»

Podríamos ya, con lo que va dicho, terminar este artículo, en el que solo nos hemos propuesto precisar con una demostración directa la cuestión de que nos ocupamos; pero queremos antes contestar á una objeción que pudiera hacérsenos; objeción, que aunque nada probaría en contra de lo que dejamos sentado, sin embargo consideramos que merece contestarse.

Las máquinas destinadas á arrastrar trenes de mercancías, se nos puede decir, se hacen en la práctica con ruedas de pequeño diámetro y grandes cilindros, y siendo máquinas que han de llevar cargas considerables, debieran según lo que hemos establecido, construirse de un modo enteramente contrario. A esto contestaremos, que si en la aplicación se procede así, es porque no se trata de resolver el mismo problema que se propone Mr. Pambour; es decir, no se supone constante la velocidad y la vaporización, y se trata de hallar la carga máxima, sino suponiendo ya conocida la carga por los estudios estadísticos que deben haberse hecho al formar el proyecto, se quieren construir máquinas que puedan tirar de esta carga con el menor gasto de combustible; es decir, con la menor vaporización posible, sin cuidarse de que sea ó no pequeña la velocidad con que puedan marchar. Siendo este el problema se ve efectivamente por la ecuación general de Mr. Pambour, que la vaporización, y por tanto el gasto de combustible, es tanto menor para

una carga dada, cuanto mayores son los valores de d y l y mas pequeños los de D .

Esta razón unida tal vez á otras que no se nos alcanzan, son las que inducen á construir las locomotoras bajo principios distintos de los que se seguirían proponiéndose el primer problema que enunciamos, así es que hemos extrañado mucho el ver que Mr. Mathias en su obra que titula «Exámen de las máquinas locomotoras de MM. Sharp y Robert» trate de justificar las dimensiones que se dan á las ruedas y á la carrera del cilindro en las máquinas de mercancías, valiéndose del mismo razonamiento de Mr. Pambour cuya inexactitud hemos hecho ver.

De todo lo dicho se deduce que aunque son erróneos los resultados de Mr. Pambour están conformes con la práctica, porque esta se propone un problema distinto que el que hemos discutido, y no se nos diga que estos errores se palian algun tanto por la igualdad de estos resultados, y que por lo mismo es casi innecesario el combatirlos.

Toda teoría desarrollada por los medios que nos dan las matemáticas, las ciencias exactas por excelencia, podrá ser incompleta si se quiere, podrá necesitar para llegar al fin los esfuerzos de muchos hombres y el trascurso de muchos siglos, pero no deberá permitirse en ella ni la mas leve sombra de error. Si estos errores existen, cumple al primero que los nota el combatirlos sin rebozo; tanto mas cuanto que nada suponen en contra de la capacidad de sus autores.

Quédese en buen hora la oscuridad y el error para aquellas ciencias en las que parece por lo poco que precisan sus principios, que su oscuridad es una de las bases de su existencia, y que no pueden vivir sino envueltas en esa media tinta en que se revuelven desde que nacieron; pero cuando se trata de las ciencias matemáticas, de las ciencias que existen por la claridad y para la claridad, nadie pretenda que se quede entre sombras la menor idea, el punto menos importante, sino que se reúnan los esfuerzos de todos, ya sean estos débiles, ya intensos, para darles luz y vida.

LEOPOLDO BROCKMANN.

LOS CARRILES DE HIERRO EN NUESTRA EDAD Y EN NUESTRA PATRIA.

I.

El poder de las naciones no se cifra hoy en el número de combatientes que coronan sus almenas; ni en el territorio que abarcan sus fronteras; ni en los moraderos que alberga su suelo; ni en el numerario que sus arcas encierran; midesse por la intensidad de sus productivas fuerzas intelectuales y materiales.

La España que al sentar en remotos climas la cruz del