

LA LOCOMOTORA ELECTRICA

SISTEMA J. J. HEILMANN

(Extracto tomado de un folleto publicado en francés)

CARACTERES ESENCIALES DE LA LOCOMOTORA ELÉCTRICA HEILMANN Y DE LA LOCOMOTORA MECÁNICA USUAL

Las dos locomotoras, la Heilmann y la mecánica, están destinadas á desempeñar las mismas funciones: ambas deben remolcar trenes de vagones sobre vías férreas; ambas desarrollan por medio de calderas y máquinas de vapor, que llevan consigo la potencia mecánica necesaria para su acción; las dos consumen en sus ejes motores, este trabajo mecánico á medida que es producido por la máquina á vapor. El rol del maquinista se limita en las dos locomotoras, á obrar sobre los órganos de regulación para activar ó disminuir el gasto de la potencia mecánica, en proporción con las exigencias que resultan del perfil de la vía y de la carga del tren, tratando de conservar, en cuanto sea posible, una velocidad constante para el tren.

La diferencia que hay entre los sistemas, está en el modo de transmisión de la potencia mecánica, desde su creación por la máquina á vapor, y en el procedimiento de distribución de esta potencia en los diferentes ejes motores, sobre los cuales se consume.

En la *locomotora mecánica*, estas dos funciones son confiadas á órganos de una extrema simplicidad y de orden esencialmente mecánico; como bielas y manivelas.

En el *sistema Heilmann*, la transmisión y la distribución se hacen eléctricamente.

Para este efecto, la potencia mecánica desarrollada por la máquina á vapor, es, inmediatamente después de su creación, directamente transformada en potencia eléctrica, con la ayuda de un dinamo generador, actuado directamente por la máquina á vapor.

La potencia mecánica puesta así bajo la forma de energía eléctrica, es conducida y distribuída á motores eléctricos colocados en cada uno de los ejes motores, gracias á estas máquinas, la energía eléctrica es de nuevo transformada en trabajo mecánico que se consume sobre el eje motor.

Parece lógico, á primera vista, sustituir la distribución mecánica compuesta de órganos simples y robustos, como las bielas y manivelas, por una distribución eléctrica incontestablemente más complicada, y al mismo tiempo más onerosa, porque, en cada transformación de la potencia mecánica en energía eléctrica, y recíprocamente, hay una pérdida enevitable de fuerza.

Sin embargo, un examen atento de los hechos conduce á conclusiones contrarias, y las ventajas del sistema eléctrico resaltan más á medida que se mira en detalle el rol especial que debe desempeñar una locomotora, impuestas por las exigencias de servicios más y más pesados, dada la progresión de las dificultades de explotación.

Vamos, pues, á examinar sumariamente estas circunstancias, examinando qué cualidades deben tener las locomotoras y cuáles son los obstáculos para su desarrollo.

Se puede decir que, dado el aumento del tráfico, se les pide á las locomotoras que suministren cada día más y más intenso, sea para los trenes de gran velocidad, sea para los trenes de pequeña velocidad.

SERVICIO DE GRAN VELOCIDAD

En las líneas de rampas débiles y de grandes radios, se exigen ahora trenes más y más pesados, animados de velocidades cada vez mayores (nuestro expreso de Talcahuano, fué creado con trenes de muy poco peso, después se le agregaron carros salones y se exigió la misma velocidad, y cada día se hace más necesario aumentar su equipo y conservar la velocidad, por consiguiente, máquinas más y más potentes para su remolque.) Por consiguiente, en estos casos, se les exige á las locomotoras:

- 1.º Una estabilidad perfecta con gran velocidad.
- 2.º Un esfuerzo de tracción considerable, lo que exige un peso adherente considerable.
- 3.º Un trabajo mecánico muy grande, lo que exige calderas y máquinas muy desarrolladas.

En las vías internacionales y termales, se pide á las locomotoras, á pesar de la dureza de las rampas y de los radios pequeños de sus cubos, que se remolque trenes más y más pesados imprimiéndoles velocidades tan elevadas como sea posible.

Por consiguiente, á las tres cualidades que acabamos de enumerar, estabilidad, adherencia y potencia, debe agregarse aquí una cuarta; la flexibilidad, en razón de la pequeñez de los radios de las curvas de la vía.

SERVICIO DE PEQUEÑA VELOCIDAD

Pero estos servicios, sobre todas las vías se piden locomotoras capaces de remolcar trenes más y más pesados, lo que significa un aumento del peso adherente y el aumento de la potencia mecánica; además, la penetración de las líneas férreas en las partes montañosas de los países, obliga á adoptar en los trazados rampas y curvas extremas para llegar á obtener para las plataformas de la vía, costos los más económicos posibles.

Por consiguiente, encontramos aquí, en el caso del servicio de pequeña velocidad, la misma tendencia constante al desarrollo de la estabilidad del peso adherente y de la potencia mecánica y de la flexibilidad de las locomotoras.

Sentados estos antecedentes, sin que sea necesario entrar en ninguna demostración de detalle, se puede decir que la transmisión de la potencia motriz por medio de bielas y manivelas, tiene por resultados precisamente presentar graves subjeciones para llenar las cualidades especificadas que acabamos de enumerar.

Así tenemos:

1.º *Bajo el punto de vista de la estabilidad.*—A.—La transmisión mecánica por bielas y manivelas, obliga á tener ruedas motrices de gran diámetro para las máquinas de gran velocidad. La rueda de *gran diámetro* lleva el centro de gravedad del conjunto y tiene mal en los rieles, por consiguiente, es perjudicial á la estabilidad de la locomotora que debe marchar con gran velocidad.

B.—La transmisión mecánica, obliga á soportar los movimientos rápidos é inversos de masas pesadas laterales. Las oscilaciones longitudinales de estas masas imprimen á la locomotora movimientos elementales dañinos. Ellas deteminan en razón del movimiento vertical, variaciones periódicas en presión ejercida por los ejes motores sobre los rieles. Ellas aumentan anormalmente la fatiga del riel en un momento dado, é inmediatamente después, lo adivinan hasta el punto de provocar una adherencia insuficiente y tendencia al resbalamiento de las ruedas bajos los esfuerzos del pistón.

Resultas de estos esfuerzos, reacciones elásticas y una vibración general que conducen á un movimiento ondulatorio de todo el sistema. La componente longitudinal imprime el movimiento lateral (de lacet) y la componente vertical engendra el movimiento de galope.

Los movimientos parásitos, producidos por los órganos mecá-

nicos encargados de transmitir y distribuir la potencia mecánica, dañan la estabilidad de la locomotora en las grandes velocidades. Por consiguiente, la transmisión mecánica, *limita la estabilidad para las grandes velocidades.*

2.º *Bajo el punto de vista de la adherencia.*—Se sabe que si se quiere conservar á las locomotoras mecánicas de vía normal, su flexibilidad necesaria para atravesar las curvas, á pesar de la rigidez de los órganos de transmisión y distribución de la potencia, se debe limitar á dos el número de ejes motores acoplados en las máquinas de gran velocidad, y á cuatro el número de ejes motores en las máquinas de pequeña velocidad.

El peso adherente está pues limitado, y no es más que sobrecargando los ejes que se puede ganar algo por este lado; y si se hace esto, no es más que en detrimento de la conservación normal de los rieles.

En resumen, *la transmisión mecánica limita el aumento de peso adherente.*

3.º *Bajo el punto de vista de la potencia mecánica.*—La potencia mecánica de una locomotora está ante todo ligada con el desarrollo de su caldera. Para desarrollar la potencia es preciso aumentar la caldera, y por consiguiente, desarrollar la superficie de la plataforma, es decir, el largo de la locomotora. Ahora, con la transmisión mecánica y las disposiciones que ella trae consigo, no se puede aumentar sensiblemente, más allá de las dimensiones actuales sin comprometer la flexibilidad del vehículo.

En resumen, la transmisión mecánica limita el desarrollo de la potencia en las locomotoras.

4.º *Bajo el punto de vista de la flexibilidad.*—La locomotora mecánica, en razón de la rigidez de la transmisión, está naturalmente desprovista del órgano más necesario para conseguir la flexibilidad de vehículos: la clavija maestra. La série de ejes subcesivos, que sostienen la plataforma de la locomotora, excluye la presencia simultánea de los bogies con clavijas maes-

tras cuya asociación da á los vagones una flexibilidad excelente. El carácter propio de la transmisión mecánica *es la rigidez* y por lo tanto la locomotora el menos flexible de los vehículos que circulan en las vías férreas, cuando debiera pasar lo contrario, bajo el punto de vista de los peligros de desrielamiento.

Por consiguiente, la transmisión mecánica, limita la flexibilidad de las locomotoras.

CONSECUENCIAS DEL CAMBIO DEL SISTEMA DE TRANSMITACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE LA POTENCIA

Se ve por el resumen anterior que las *cualidades esenciales* de la locomotora son: *la estabilidad, la adherencia, la potencia y la flexibilidad*, y que por el sólo modo de transmisión y distribución de la fuerza inerte inherente á la locomotora Stephenson, existe un conflicto constante y recíproco entre ellos; si se desarrolla una de ellas es en detrimento de las otras.

Se puede pues decir que se ha llegado hoy á un máximo en el desarrollo de la locomotora mecánica, el cual difícilmente se puede pasar sin turbar la armonía necesaria entre las diversas cualidades que deben caracterizar la buena locomotora.

Ahora si se sustituye la transmisión eléctrica á la transmisión mecánica, todas estas dificultades desaparecen.

La estabilidad, no es puesta en peligro, ni por el diámetro de las ruedas, por cuanto la locomotora puede tener ruedas del mismo diámetro que la de los vagones, ni por los movimientos perturbadores de los órganos de transmisión. En este caso, el movimiento se transmite por órganos flexibles y fijos, tales como cables, y no por masas pesadas en oscilación continua como las bielas.

La adherencia, es completa, cada eje que soporta la locomotora, es un eje motor, sin que ello ocasione la menor subjeción ni para la flexibilidad del vehículo ni para otra cosa.

La potencia, puede aumentarse considerablemente. Gracias al sistema de bogies, la plataforma de la locomotora puede aumentarse en largo de una manera considerable, lo que permite realizar un vehículo flexible y con una potencia *del doble* á la de las locomotoras mecánicas.

La potencia de las locomotoras mecánicas más fuertes es de 1,000 caballos durante algunos instantes. Con locomotora eléctrica se pueden obtener con seguridad locomotoras dando 2,000 caballos en trabajo prolongado.

En fin, con respecto á *la flexibilidad*, ella es perfecta, puesto que resulta de la construcción natural de la locomotora. La locomotora en este caso es un vagón como cualquier otro y del tipo de vagones más flexibles, es decir, del vagón con bogies.

En resumen, el cambio de sistema para la transmisión y distribución de la potencia motriz, trae consigo, al vehículo que llamamos locomotora, un cambio completo en sus elementos esenciales, conformándose con las exigencias que la teoría y la práctica habían asignado como necesarias para la estabilidad, adherencia, potencia y flexibilidad de las locomotoras de grandes y pequeñas velocidades.

La introducción de la electricidad en esta grave cuestión transforma por lo tanto no sólo los datos actuales relativos á velocidades y cargas de los trenes, sino las relativas á los límites de rampas y de radios en las nuevas líneas férreas.

Se ve pues que, en cambio de *tán* excelentes resultados, aumento de potencia, flexibilidad, estabilidad, etc., de las locomotoras, puede sacrificarse largamente las pérdidas inherentes á *la doble é inmensa transformación que sufre la potencia mecánica* en las locomotoras Heilmann; por cuanto estas pérdidas están compensadas desde luego, y aún bajo el punto de vista de la economía de carbón el sistema Heilmann parece conservar la ventaja.

Poniendo la potencia mecánica bajo la forma eléctrica, á más

de gozarse de las ventajas descritas bajo el punto de vista de la distribución de la potencia, tenemos que, el sistema de máquinas eléctricas interpuestas en las máquinas á vapor y los ejes motores hace el papel, que en parte, en una fábrica hace el sistema de engranajes ó de poleas que transmiten la potencia de la máquina motriz á la máquina de trabajo. Ahora, los órganos de transmisión, poleas ó engranajes que, en la industria permiten *transformarla á voluntad y en conformidad con las necesidades de la máquina útil*, no existen absolutamente en la locomotora mecánica y, por consiguiente, en este caso, *la velocidad del motor á vapor está siempre rigurosamente ligada con la velocidad del eje motor* á causa de la unión rígida que las une.

En la locomotora Heilmann, es lo contrario, la transmisión eléctrica, juega el rol de una verdadera transmisión de poleas y aún de una transmisión en la cual, á cada instante, se puede hacer variar á voluntad la relación entre los diámetros de las poleas de transmisiones subcesivas.

De esta manera se puede regularizar el gasto de la potencia, no ya obrando sobre la introducción del vapor en el cilindro, como debe hacerse en las locomotoras ordinarias, sino obrando directamente sobre la velocidad misma de la locomotora, quedando la introducción de vapor constante.

En una máquina á vapor en marcha, el período de introducción del vapor en los cilindros queda constante   invariable (y será el que corresponda al máximum de economía en combustible, etc.,) y la velocidad será proporcional al trabajo que haga el tren   que tenga que desarrollar según el desarrollo del perfil de la vía.

Si el tren, lanzado á gran velocidad, no exige trabajo, la máquina motriz que mueve los dinamos tomará una marcha muy lenta (caso del tren bajando una gradiente). Si el tren exige un trabajo medio, la velocidad de la máquina motriz será más acelerada (caso del tren en horizontal) y por fin si el remolque del

tren exige un trabajo extremo (caso de remontar una gradiente) la máquina motriz del dinamo tomará el máximo de velocidad, y el tren conservará su velocidad normal.

Con la locomotora ordinaria, la velocidad del motor habría quedado siempre la misma (la velocidad máxima), sólo la introducción del vapor habría variado según el régimen de la marcha.

Ahora si se reflexiona se ve que el vapor es sólo económico para una sola admisión y que el rendimiento disminuye singularmente, cada vez que la introducción del vapor se aparta de esta admisión normal; se ve pues entonces que no es lógico y que puede haber ciertas economías en favor de un sistema que emplea siempre el vapor en condiciones de admisión de economía máxima, con relación al sistema actual que hace justamente la inversa. Hay pues como compensar las pérdidas inherentes á las transformaciones de energía mecánica en energía eléctrica, y recíprocamente, sin contar la economía de material que resulta de que la máquina motriz, sólo usa la gran velocidad excepcionalmente, en el caso de un trabajo excesivo, en la remonta de rampas; mientras que en la locomotora ordinaria es el régimen normal y constante.

Como detalles de la locomotora Heilmann podemos apuntar los siguientes:

Todos los órganos que exigen cuidado ó precauciones se encuentran en el interior de un vagón, donde pueden ser vigilados y atendidos, como lo son las máquinas á bordo; las máquinas pueden por lo tanto trabajar varios días y varias noches consecutivas como pasa con las máquinas marinas.

Todo lo que se encuentra fuera de la sala de máquinas, tiene el grado de resistencia y de permanencia de los órganos frotantes de los vagones; como ser los ejes que hay que lubricar bien para hacerlos soportar viajes de varios días sin detención.

Las locomotoras eléctricas de gran velocidad pueden por lo tanto marchar mucho mayor tiempo que una locomotora mecá-

nica: sus órganos están mejor colocados y por lo tanto pueden ser cuidados y vigilados con toda seguridad estando en marcha.

La locomotora, trabajada de esta manera se presta mejor para separar completamente el servicio del maquinista y del fogonero: su aceitadura pudiendo y debiendo hacerse fácilmente automática y continua, el fogonero no tiene más que vigilar esos órganos y dedicarse á sus funciones manuales para atender el fuego, etc.

El maquinista desprendido de toda preocupación de atención del mecanismo, queda aislado delante, absorto y dedicado á la buena conducción de la locomotora y observación estricta de las señales de la línea, etc. Esta separación de funciones no puede menos que dar excelentes resultados y mayor seguridad para la marcha de los trenes.

Como consecuencia ahora, de la flexibilidad de la locomotora, no puede menos que venir indirectamente una economía en la conservación de la vía; la ausencia casi completa de movimiento lateral y de galope, que destruyen tanto los asientos de la vía es notable y sus resultados para la conservación de la vía no puede menos que ser benéficos; y por último la repartición matemática é igual de los pesos sobre los ejes motores y la reducción posible de esos pesos por eje, á pesar del aumento enorme de adherencia, son también ventajas no despreciables bajo el punto de vista de la conservación de la locomotora como vehículo y de la vía.

DESCRIPCIÓN SUMARIA DE UNA LOCOMOTORA SISTEMA

J. J. HEILMANN

La locomotora se encuentra montada sobre un marco con bogies como el de los vagones y con las dimensiones necesarias para recibir los aparatos que deben reposar sobre la plataforma. La locomotora, se puede decir, es del sistema de loco-

motoras tenders, que tienen sus depósitos de carbón y agua al lado de la caldera, estos depósitos contienen 12 metros cúbicos de agua y 6 toneladas de carbón.

La caldera, es del sistema Lentz, con tubos relativamente cortos y con el hogar seguido de una cámara de combustión donde se depositan las chispas, etc., ó pedazos de carbón que tienden á ser arrastrados por el tiraje. El largo total de la caldera es de 7^m90 y los tubos tienen 3 metros solamente de largo. La superficie de la parrilla es de 2^m25 y la superficie total de caldeo es de 145 metros cuadrados, de los cuales 18^m06 tienen el hogar y la cámara de combustión y 128^m11 los tubos. La vaporización en esta caldera es considerable por la superficie del hogar y los primeros metros de tubos; pero disminuye rápidamente para los últimos elementos, cuando los tubos se alargan; pero la vaporización de esta caldera es de las más elevadas por el gran desarrollo de la superficie caliente aunque tiene tubos relativamente cortos. Este tipo por lo demás, ha dado los mejores resultados en varias locomotoras donde se ha aplicado. La presión normal del vapor es de 12 kilogramos y la caldera contiene, con el agua en su nivel medio una capacidad de nueve y media toneladas de agua.

El vapor producido por la caldera va actuar sobre la máquina á vapor potente colocada sobre la plataforma, y suspendida por medio de resortes: esta máquina á vapor tiene dos pistones bielas, manivelas, etc., piezas de movimiento rápido constantemente alternativo, y sin embargo, estos movimientos secundarios no son impulsiones laterales inversas al marco de la locomotora, ni el movimiento ó impulsos alternativos de los pistones, bielas, etc., provocan tan poco estos movimientos laterales ó los de galope, porque están rigurosa y matemáticamente extinguidos. La razón es muy sencilla, es la locomotora mecánica el de la máquina á vapor es, transmitir directamente su movimiento á las ruedas motrices, colocadas á ambos lados del marco, y actua-

das alternativamente y de ahí la tendencia ó oscilaciones laterales; en la locomotora Heilmann, el *rol de la máquina á vapor es hacer girar un árbol paralelo al eje de la vía férrea y que es el árbol dinamo generatriz*. Por consiguiente, las piezas asilatorias que tienen rigurosamente el mismo peso y la misma carrera, la comienzan y la terminan al mismo tiempo y conjuntamente pero en sentido inverso. La impulsión que cada una de ellas tiende á dar, es combatida y anulada, por una impulsión en sentido contrario y de intensidad rigurosamente igual. Resultado de esto, que, todo movimiento oscilatorio debe estar suprimido, en estas máquinas equilibradas; y la experiencia ha confirmado plenamente la teoría, es imposible, á cualquiera velocidad que se camine, apercibir la menor vibración que provenga de la máquina á vapor, resultado verdaderamente importante, por cuanto la supresión de todo movimiento personal de la locomotora, es una de las desideratas que más han buscado todos los constructores de locomotoras.

Por lo que toca á la máquina misma es sistema Compound, y su potencia efectiva con 360 vueltas es de 600 caballos, y puede ir hasta 800. El diámetro del cilindro chico es de 425 milímetros y el del grande 650 milímetros, la carrera común de los pistones es de 30 centímetros: la introducción del vapor es siempre la misma, la correspondiente al máximun de rendimiento en fuerza por kilogramo de vapor introducido; y como ya se ha dicho es haciendo variar la velocidad que se aumenta ó disminuye la potencia, según el perfil de la vía, y no modificando el período de admisión ó de introducción del vapor por medio de correderas Stephenson, como se hace en las locomotoras mecánicas.

Después de la máquina á vapor, que traduce en potencia mecánica, la presión del vapor de la caldera, viene el aparato que transforma esta potencia en energía eléctrica, que es la tercera faz de las transformaciones sucesivas de la energía. Esta faz es la que caracteriza la locomotora Heilmann, y un dinamo, es

el encargado de esta transformación. En la locomotora de que nos ocupamos es un patente dinamo de 6 palos, tipo Gramme, pudiendo transformar fácilmente 600 á 1,000 caballos á vapor. Su gasto normal es de 1,200 amperes, bajo forma electro-motriz de 400 volts. Su rendimiento, es bastante elevado, da en forma eléctrica el 95% de la fuerza que recibe en forma mecánica ó á veces más.

Por fin viene la cuarta transformación de la energía y su distribución en la locomota. En las locomotoras mecánicas, la distribución de la energía se hace por medio de manivelas y viejas de acoplamiento, etc., toda pieza pesada y de movimientos alternativos: en la locomotora eléctrica, la distribución se hace, con elementos flexibles al extremo, cables, alambres, etc. y sin movimiento alguno y *se opera sobre cada eje independiente*, por cuanto la energía eléctrica se traduce en cada eje por separado en *una energía de torción* producida por el motor ó aparato correspondiente. Bajo la influencia de esta *torción*, de esta pareja motora, el eje tiende á rodar y este eje está asociado con otros tres ejes en un bogie que soporta por medio de una chaveta central la mitad del peso de la plataforma. Este peso se encuentra matemáticamente distribuído en ocho puntos, por partes iguales, en la extremidades de cuatro ejes de bogies. Cada uno de estos ejes es un eje motor independiente y el boguie agrupa, por decirlo así, el esfuerzo de cuatro ejes que trabaja cada uno por su cuenta con plena libertad de acción, sin acoplamientos ni sujeción mecánica de ninguna especie. Estos motores que transforman la energía eléctrica en energía mecánica de torción en los ejes pertenecen al tipo de la *Juan Clad Dinamos* que se sirve de fierros electros-imanés para envolver y proteger la maquinaria eléctrica del motor.

Adelante del gran dinamo, se ha colocado una pequeña máquina eléctrica acompañada de su pequeño motor á vapor. Este aparato que suministra una corriente de excitación al gran dina-

mo, es decir una corriente que circula en las bobinas que rodean los polos hace resaltar las líneas de fuerza de los electroimanes. Esta máquina, sirve igualmente, para poner en movimiento la máquina á vapor que tiene un punto muerto; Para esto el pequeño dinamo envía una corriente al dinamo grande el que instantáneamente se transforma así en un motor y arrastra á la máquina á vapor poniéndole en marcha y venciendo el punto muerto.

En la parte delantera está la colocación del maquinista que se ocupa únicamente de la conducción del motor y de las palancas de maniobras, según el perfil de la vía y señales que encuentre en su camino; lejos de él está el fogonero, el cual, al mismo tiempo que vigila la aceitada que es automática, y que sólo tiene que vigilar el escurrimiento normal del aceite, atiende el servicio del hogar, etc. La máquina á vapor es mandada por el maquinista desde su puesto.

La vista de conjunto de la locomotora es muy semejante á un vagón ordinario. La locomotora de este tipo que fué construída en los talleres de la compañía de «Forges et Chantiers de la Méditerranée,» atravesó por una vía urbana, para ir al polígono Hoc, que tenía curvas de 80 metros de radio seguidas y en sentido contrario sin parte recta intermedia, y sin embargo ha pasado por todas las curvas sin dificultad. Su estabilidad es perfecta, y la facultad de ponerse en marcha (demanaje) es muy enérgica. En una palabra, ha realizado el programa que se fijó para su construcción.

Santiago, Marzo 27 de 1894.

D. V. S. M.