

De locomotoras

DE VAPOR

Alfredo
Nieves Medina

Cuando evocamos una locomotora de vapor es inevitable que nuestra mente nos remita a la imagen de una máquina de color oscuro.¹ Pero cuántos de nosotros, de los que no estamos tan cerca de los ferrocarriles y de su gente, sabemos qué es una locomotora de vapor, cómo funciona, cuáles son sus partes y sus mecanismos de operación.

El tema, sin duda, es difícil de entender, y también de explicar, no sólo por sus características técnicas, sino por el andar histórico de la locomotora de vapor, que ya rebasa los cien años, periodo en el que las innovaciones que a ésta se le hicieron, la volvieron cada vez más compleja. Para comprenderlo necesitamos, de cualquier modo, remitirnos a la historia y a la tecnología humana. Vayamos, pues, tras la locomotora de vapor.

El uso del vapor para mover máquinas no se dio por vez primera en los ferrocarriles, sino en las minas: de los tiros mineros salieron los grandes aportes tecnológicos que los ferrocarriles aprovecharon bien, pues además de las locomotoras de vapor, los rieles fueron también utilizados en las minas antes de que se usaran en los trenes.

Podemos señalar que la locomotora es una forma simple de la máquina de vapor, que consigue su fuerza del calor que desprende el combustible al quemarse, y que el vapor es una especie de agente intermediario, que recibe el calor y transforma una parte de éste en trabajo.²



© Locomotora de vapor 304 del Ferrocarril Mexicano, s/f. Fondo Donaciones. CONACULTA/CNPPCF/MNFM.

Para C. Hamilton Ellis el antecedente del ferrocarril es la locomotora de vapor. Añade que la primera de la que se tienen datos fue la construida por el británico Richard Trevithick en 1803, la cual era una máquina que sólo podía jalar un caballo y corría a la fabulosa velocidad de ocho kilómetros por hora. Pero fueron otros británicos, los Stephenson, quienes lograron la fama y fortuna con el diseño y construcción de máquinas de vapor. Ellos formaron parte de la primera compañía que construyó una línea férrea.³

A mediados del cada vez más lejano siglo XIX, en México los primeros afanes ferrocarrileros se condensaron en dos tramos cortos. El primero iba del puerto de Veracruz a San Juan, y el otro, de la capital de la República al santuario de la virgen de Guadalupe. Con más trabajos que logros, el ferrocarril iba caminando lentamente hasta que el gobierno de Porfirio Díaz le dio un gran empuje, de menos de setecientos kilómetros se alcanzaron cerca de los veinte mil. En este periodo de crecimiento estuvo presente la locomotora de vapor, llevando cargas y pasajeros, uniendo regiones de este gran país y combatiendo en uno u otro lado durante la Revolución mexicana. Pudiera ser ésta una explicación de cómo el imaginario popular mexicano encontró una conexión entre la máquina de vapor y la Revolución: al aflorar uno, afloraba el otro.

LA FUERZA DEL VAPOR

Lo que mueve a las máquinas de vapor es la fuerza expansiva y controlada del vapor de agua en un cilindro.

La primera patente de una máquina de este tipo la obtuvo James Watt en 1769. El poder de esta forma física del agua es generada por el calentamiento, más allá de su punto de ebullición. Aquí es pertinente recordar que una fuerza produce un trabajo cuando desplaza un cuerpo una determinada distancia. Si el desplazamiento es en la dirección de la fuerza, el trabajo se calcula multiplicando la fuerza ejercida en kilogramos por la distancia recorrida en metros. Al trabajo consumido para elevar un kilogramo de peso a un metro de altura se le llama “kilográmetro” (kgm).⁴ Así, para elevar cien kilogramos a una altura de cinco metros se necesitan quinientos kilográmetros. Para tener una mejor idea de la acción que ejecutan las locomotoras es conveniente señalar el tiempo empleado para realizarlo, por lo que involucraré el concepto de “potencia”.

La potencia de una locomotora es el trabajo que desarrolla en un determinado tiempo, la relación que se mide por el trabajo realizado en un periodo, cuando este trabajo es uniforme.⁵ Por ejemplo: una locomotora que ejerce una fuerza de tracción de mil kilogramos a una velocidad de 72 kilómetros por hora, o veinte metros por segundo, desarrolla veinte mil kilográmetros (1000 x 20) por segundo. Con una menor velocidad, a la mitad de la mencionada, diez metros por segundo y una fuerza de tracción doble, dos mil kilográmetros, hallamos la misma potencia, esto es, veinte mil kilográmetros por segundo.

La potencia de las locomotoras de vapor se mide en “caballos de vapor”, que se abrevia como “caballos”, y viene a ser la potencia que ejercen 75 kilográmetros por segundo. Esto significa que un caballo de vapor es capaz de elevar 75 kilogramos a una altura de un metro durante un segundo. En este caso la potencia se puede calcular dividiendo los kilográmetros desarrollados por los 75 kilogramos (20,000/75), lo que nos da un resultado de 266.66 caballos.⁶

Pero también existen fuerzas que tratan de impedir el movimiento de una máquina. Dichas fuerzas, conocidas como resistencias, son las que tiene que vencer una máquina para poder moverse. Tal es el caso de la resistencia al rodaje, causada por la flexión de las vías bajo el peso de las ruedas; las desigualdades y deformación de las mismas; el frotamiento de los cuellos de los ejes de los cojinetes, la oposición del aire y otras más. Estas fuerzas contrarias al movimiento de la máquina

son de diversa naturaleza y magnitud, y resultan difíciles de medir separadamente, por lo que se les relaciona, de una manera conjunta, con respecto al peso del tren. De todas estas fuerzas, la resistencia del aire es la más variable.

LA LOCOMOTORA DE VAPOR

Para el gran ingeniero mexicano Francisco M. Togno, la locomotora de vapor es

[...] esquemáticamente, una caldera con máxima superficie de calefacción, [que] genera vapor en grandes cantidades y a presiones de hasta 25 kilogramos por centímetro cuadrado, con temperaturas hasta de 400 °C. Ese vapor generado empuja a un émbolo [o pistón] a lo largo de la carrera del mismo y una biela conecta la cruceta con la excéntrica [o manivela] de las ruedas motrices, produciendo un mecanismo de cuatro barras (o tiempos) cuya repetición y frecuencia son regulados por las válvulas de distribución de vapor.⁷

Continúa:

[...] en cada tipo de locomotora de vapor varía el diámetro de sus ruedas motrices, su número, el tamaño de los pistones, la presión de vapor, el empleo de vapor recalentado, tamaño de calderas, carrera del émbolo, etcétera.

Y por ende, hay diferencias en cada modelo o tipo; no obstante, toda locomotora de vapor está formada por tres elementos esenciales: la caldera que produce el vapor, el motor que lo utiliza, y el vehículo que recibe el movimiento del motor y soporta a la caldera y el motor.⁸

1. LA CALDERA

Para Lamalle,⁹ la caldera es el alma de la locomotora. Es aquella parte de la máquina que con su acción de vaporización da potencia a la máquina; es decir, es la responsable de la producción del vapor. La caldera de las locomotoras está colocada en posición vertical, y es de forma tubular y de hogar interior.¹⁰ Se compone de tres partes: el hogar con su parrilla y cenicero; el cuerpo cilíndrico y el haz tubular, y la caja de humo y chimenea.

Además de estas partes, la caldera tiene otros accesorios, como son los aparatos de alimentación, de seguridad, de inspección, de limpieza, y unos aditamentos conocidos como recalentadores de vapor, que evitaban la pérdida de calor (y potencia) debido a las condensaciones del vapor, cuando éste se enfría, al recalentarlo.

Cuando a principios del siglo XIX, las primeras locomotoras comenzaron a rodar lentamente en las vías, el obstáculo a vencer era la baja producción de las calderas que limitaba la fuerza de arrastre. Eduardo Sauvage¹¹ hace un breve recuento de cómo la locomotora de vapor salió de las minas para rodar por la superficie. Menciona cómo el ingeniero francés Marc Séguin en 1828 diseñó una caldera, a la que denominó “generador tubular”. Tenía en su interior una serie de tubos múltiples¹² —por algunos de ellos circulaba agua y por otros humo—, esta innovación trajo consigo potencia y ligereza.

Para localizar las partes de la caldera, podemos decir que la chimenea se encuentra adelante en el sentido de la marcha, mientras que el hogar se halla en la parte posterior.

EL HOGAR

Es el sitio donde se quema el combustible para la producción de vapor. Es una especie de bóveda en forma de caja formada por lo general por cuatro paredes verticales que soportan el techo, al que se le conoce como “cielo”. La parrilla (o quemador) está colocada en la parte inferior de la caja. En la fabricación de los hogares se utilizaron planchas de cobre y de acero, siendo estas últimas las más requeridas, debido principalmente a su duración y costo. Cuando las temperaturas eran muy altas se utilizaron ladrillos refractarios,¹³ que hacían que las llamas retrocedieran antes de dirigirse al haz tubular. De esta manera se lograba un reflujo de



© Tren de pasajeros llegando a San Luis Potosí, 1932. Fondo Comisión de Avalúo e Inventarios. CONACULTA/CNPPCF/MNFM.



© Locomotora de vapor 14 del Ferrocarril Mexicano, s/f. Fondo Donaciones. CONACULTA/CNPPCF/MNFM.

gases que se traducían en una mejor combustión. La parrilla variaba de forma, dimensiones y disposición, dependiendo del combustible que quemara, pero se decía que dos eran sus características importantes: el espesor y la separación de los barrotes, puesto que estaban en relación con el paso del aire y el tamaño de las partículas del combustible. Finalmente, había una caja de palastro o acero moldeado, conocida como cenicero, que servía para contener las cenizas y los residuos resultantes de la combustión.

Como combustible para las locomotoras se utilizó leña, carbón y aceites derivados del petróleo (como el chapopote). Los aceites pesados comparados con el carbón tienen un mayor poder calorífico, entre 10,300 y 10,500 calorías por kilogramo, contra ocho mil del carbón, pero éste tiene más que la madera, que anda alrededor de cuatro mil. Cuando se quemaban aceites pesados, el hogar tenía que ser revestido con un material refractario, ya que se alcanzaban temperaturas sumamente altas.

EL CUERPO CILÍNDRICO Y EL HAZ TUBULAR

El conjunto de tubos (o haz tubular) está envuelto por un depósito de forma cilíndrica cerrado en los extremos. Este cuerpo está formado por un cierto número de aros o secciones de planchas de acero curvadas. Debía ser capaz de soportar altas presiones, como resultado de la producción y recalentamiento de grandes cantidades de vapor de agua. Lo más frecuente era encontrar diámetros crecientes de adelante para atrás, en una disposición conocida como telescópica, porque se asemeja a ese instrumento óptico. El cuerpo cilíndrico contenía agua, la que debía cubrir el hogar y a todos los tubos.

LACAJA DE HUMO Y CHIMENEA

La caja de humo es una cavidad cerrada que se encuentra en la parte delantera de la caldera, y que sostiene a la chimenea. Sirve para expulsar los gases que se producen en la combustión. Por lo general, las chimeneas presentan una sección circular. Tienen las formas cilíndrica o tronco-cónica, con la parte del diámetro mayor hacia arriba.¹⁴ Con frecuencia la chimenea se prolongaba hasta el interior de la caja de humo, pero se debe mencionar que hubo locomotoras que tenían dos chimeneas.

Las calderas, en su parte frontal y en su conjunto de tubos múltiples, llegaron a producir alrededor de doce libras de agua evaporada por hora, por cada pie cuadrado de superficie total de calentamiento. A velocidad normal, cada caballo/hora requería 28 libras de vapor, y 38 libras de vapor a alta velocidad. Las últimas locomotoras de vapor tenían un espectro de fuerza de 50 a 150 mil libras de tracción en la barra del ténider.¹⁵

2. EL MOTOR

Del motor podemos decir que es propiamente la máquina. La caldera es la parte de la locomotora que genera el vapor, y la máquina está formada por una serie de aparatos que transforman el calor contenido en el vapor en trabajo de tracción; es decir, transforman la energía térmica en mecánica. Las partes que componen toda máquina de vapor son las siguientes:

- El cilindro interior con un pistón o émbolo que realiza un movimiento rectilíneo alternativo.
- Los dispositivos que distribuyen de manera uniforme el vapor por las dos caras del pistón, provocando el escape cuando el vapor ha logrado su cometido.
- El mecanismo que convierte el movimiento rectilíneo alternativo del pistón en movimiento circular continuo de los ejes y las ruedas, lo cual hace que la locomotora se mueva.

Los cilindros, que por lo regular son dos, uno en cada lado, están sujetos lateralmente a los largueros del bastidor. En América, las locomotoras de vapor tenían en el exterior los cilindros. Esto lo podemos apreciar fácilmente a un lado de la parte delantera de la locomotora. Los cilindros eran cavidades herméticas, y siempre que fue posible estuvieron fundidos en una sola pieza. En el interior del cilindro corría el pistón con libertad, pero sin dejar escapar el vapor. Mediante una

pieza llamada vástago, el pistón se articulaba con unas bielas, también conocidas como flechas, para transmitir el movimiento a las ruedas motrices principales.

Lamalle hace una breve descripción del funcionamiento de una máquina de vapor ordinaria¹⁶ (Figura 1):

La acción motriz del vapor se da cuando el regulador está abierto, el vapor de la caldera penetra en la caja de vapor. El vapor se distiende, ocupando todo el espacio que se le presenta oprimiendo el pistón o émbolo. El vapor recogido en la cúpula de la caldera se introduce por el tubo de admisión *T* a una cavidad *C* llamada caja de vapor o capilla de la distribución. De ahí, el vapor se distribuye por las lumbreras de admisión *y* *y'* alternativamente de izquierda a derecha del pistón o émbolo *P*, que se mueve con movimiento de vaivén en el interior del cilindro de vapor *G*, que se encuentra cerrado por sus dos extremos.

Operando la corredera *t*, pieza móvil, se consigue el cierre y la apertura de las lumbreras. Esa misma corredera permite al vapor salir a la atmósfera por el conducto *E*, llamado lumbrera de escape o descarga. Las tres lumbreras mencionadas se hallan colocadas sobre una superficie plana y pulida, llamada espejo de la corredera. Los espacios llenos *a* y *a'* que separan las lumbreras de escape de las de admisión se llaman bandas del espejo.

Regularmente, la corredera tenía la forma de paralelepípedo hueco, y en su interior la concha *p* y las barreras *d* y *d'*. La corredera recibe su movimiento de una pieza llamada excéntrica *N* con una biela *b* que se articula con el vástago *t2*. La excéntrica es una especie de manivela corriente en la que se ha hecho más grande el centro o botón *N* para abrazar por completo al árbol del motor *O*.



© Locomotora de vapor 210 del Ferrocarril Mexicano en una mesa giratoria, s/f. Fondo Donaciones. CONACULTA/CNPPCF/MNFM.

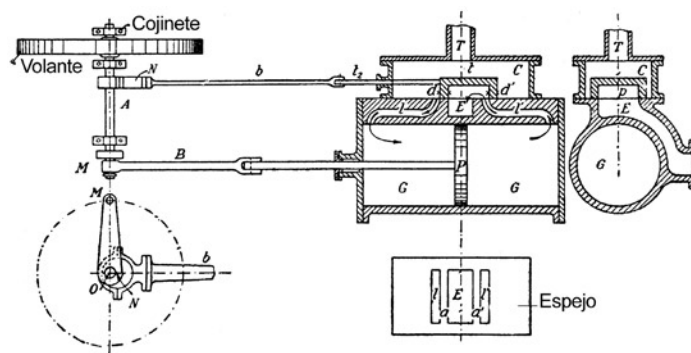


FIGURA 1. Funcionamiento de una máquina de vapor.

El movimiento rectilíneo alternativo del pistón *P* se transforma en circular continuo del árbol *A* por un sistema de biela *B* y manivela *OM*. Cuando la manivela da una vuelta, el émbolo recorre una carrera doble, entendiéndose por carrera del émbolo la distancia que hay entre un extremo al otro del cilindro. Finalmente, se dice que la manivela motriz está en punto muerto cuando se halla en la dirección del eje del cilindro.

Las fases (o tiempos) que recorre el émbolo o pistón en el cilindro son:

- a. Admisión.
- b. Expansión.
- c. Avance del escape (o escape anticipado).
- d. Escape.
- e. Compresión.
- f. Avance a la admisión (o admisión anticipada).

En la máquina de vapor ordinaria (Figura 2), las tres primeras fases son las de la carrera directa de izquierda a derecha (ida del pistón), y las otras tres, del retroceso de derecha a izquierda (vuelta del pistón). Una locomotora de vapor podía avanzar en los dos sentidos. Para dar marcha atrás se diseñó un procedimiento llamado "inversión de marcha", en el que se involucra una posición diferente de la pieza excéntrica.

Fueron varios los dispositivos que se diseñaron para distribuir el vapor alrededor del pistón, pero entre ellos, los más conocidos en nuestro país son los mecanismos de Stephenson, Walschaert y Baker. La diferencia entre los mecanismos radica en la manera como se asegura el origen del movimiento sobre las ruedas motrices, en la forma de invertir la dirección de la

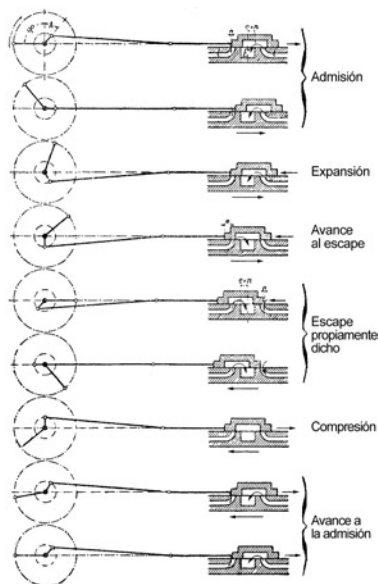


FIGURA 2. Funcionamiento de una máquina de vapor.

máquina y en el método de obtener el avance. En el de Stephenson la parte llamada sector recibe el movimiento mediante dos excéntricos, que están conectados al eje principal, uno de los cuales hace mover la máquina hacia delante y el otro hacia atrás. En el dispositivo Walschaert, el sector recibe el movimiento para operar una válvula mediante un excéntrico sencillo, que no está en el eje, sino que forma parte de un codo de retroceso fijo en el muñón principal. Este excéntrico está en plena marcha y opera el sector siempre en todo su golpe, lo cual permite que la máquina corra en cualquier dirección.¹⁷

3. EL VEHÍCULO

Como se anotó arriba, el vehículo recibe el movimiento del motor y soporta a éste y a la caldera. El vehículo cuenta también con el bastidor o chasis, que es una especie de marco rígido que forma la base para la caldera y el motor. Además, con unos soportes intermedios formados por los aditamentos de la suspensión y las cajas de grasa, recarga su estructura en una serie de ejes con ruedas. De éstas algunas son motrices y otras simplemente portantes. Cierta combinación da a los ejes una relativa movilidad en relación con el bastidor, lo cual facilita la circulación de la máquina por las curvas.

Sobre el bastidor se montan: los aparatos de enganche, que propician la articulación de la locomotora con los carros que remolca, los aparatos de choque, que son los que están destinados a amortiguar las sacudidas, que perjudicarían la conservación de la locomotora,

y los accesorios diversos que completan el conjunto, tales como frenos, arenero, repetidores de señales, abrigo para el personal, barre piedras y cubre ruedas, entre otros más.

Entre las funciones encomendadas al bastidor se encuentran las de soportar, sin deformación, el peso de la caldera y de los cilindros; mantener sin variación los ejes en sus posiciones respectivas; soportar el esfuerzo de tracción necesario para remolcar el tren y resistir los esfuerzos resultantes del trabajo de la presión del vapor y los empujes de los ejes al pasar por las curvas.

EL FINAL

Al ingeniero Togno le tocó ser testigo del cambio de locomotoras de vapor por las potentes diesel eléctricas, y realizó un estudio comparativo entre las diversas locomotoras. En el estudio el ingeniero asegura que:

Las locomotoras de vapor sólo remolcan trenes durante dos tercios del tiempo de uso y en el otro tercio permanecen en los talleres de reparación y aprovisionamiento. El rendimiento general del vapor es 12% contra el 35% del motor diesel y el 80% del eléctrico, o sea, son 18% menos eficientes que las diesel. Las máquinas de vapor golpean y desalinean la vía (por sus esfuerzos de jaloneo de las bielas) y sus grandes cargas concentradas.

La suerte estaba echada, la llegada de las potentes máquinas diesel eléctricas desplazaba a las de vapor.

Pero más de cien años de jalar carros de pasajeros y de carga no pueden caer en el olvido tan fácilmente. La



© Locomotora de vapor 133 del Ferrocarril Mexicano en una mesa giratoria, s/f. Fondo Donaciones. CONACULTA/CNPPCF/MNFM.

locomotora de vapor vive en la memoria y en el discurso de los ferrocarrileros de todos los tiempos. El imaginario ferrocarrilero encontró en la máquina de vapor un símbolo más humano del ferrocarril que se contraponía a estos tiempos modernos de incesante industrialización, que afectan de manera irremediable el medio natural y el entorno social.

Para aquellos que se interesan por las máquinas de vapor corre la invitación para conocer el Museo Nacional de los Ferrocarriles Mexicanos, que tiene su sede en los antiguos patios del Ferrocarril Mexicano y del Ferrocarril Mexicano del Sur, en la ciudad de Puebla. En dicho lugar podrán admirar y estudiar las colecciones de máquinas, herramientas, documentos y demás objetos de la llamada “era del vapor”, que dan cuenta de ese largo y pesado camino que tuvieron que andar las locomotoras de vapor para unir vidas y sueños, territorios y épocas.

NOTAS

¹ He de anotar que además del color oscuro, que hacía mención a la pesada labor de quemar combustibles fósiles y a la consabida estela de humo negro que iba dejando, hay otras características que se pueden apreciar con un poco más de cuidado: las locomotoras de vapor arrastraban un carro llamado tender que les servía como almacén y alimentador de combustible y agua. El tipo de ruedas de la locomotora de vapor es distinto al de las otras locomotoras; se observan fácilmente cuerpos metálicos, denominados bielás, que transmitían el movimiento a las ruedas motrices.

² Creo que es conveniente recordar algunos conceptos básicos. Empecemos por energía, que es la capacidad que tiene un sistema para desarrollar un trabajo; una de sus unidades de medición es la caloría y resulta ser la cantidad de calor necesaria para elevar en un grado Celsius (°C) la temperatura de un kilogramo de agua. Se entiende por trabajo al producto de la intensidad de una fuerza sobre el camino recorrido desde su punto de aplicación. El trabajo de una fuerza puede ser positivo, si coincide con el sentido del desplazamiento, o negativo, cuando la dirección de la fuerza se opone al del desplazamiento. Al trabajo realizado en una unidad de tiempo se le denomina potencia, y es una característica de los dispositivos activos capaces de proporcionar energía, que en el caso de las locomotoras de vapor es la caldera o generador de vapor.

³ C. Hamilton Ellis en *Historia de los trenes*, Ediciones R. Torres, España, 1981, cita que George, padre de Robert Stephenson, logró el reconocimiento, pero que fue su hijo el que se hizo millonario con las locomotoras de vapor; es más, en una incursión que realizó a Estados Unidos rescató al acabado Trevithick, y regresó con él a Gran Bretaña. Por otro lado, menciona que a pesar de que fue en Gran Bretaña donde se dio el impulso inicial para el establecimiento del ferrocarril, ahí mismo surgieron sus primeros detractores. La máquina de vapor, símbolo de la Revolución Industrial, alteró el orden económico-social. Hamilton añade que “la Revolución Industrial había llegado. Revolución es una palabra cuyo sentido cambia según los países. Para los franceses significa “reforma”. Para los estadounidenses “gloriosa independencia”; para los aristócratas terrate-

nientes ingleses era un cambio social odioso y les recordaba el terror y a Robespierre. Por esto no estaban dispuestos a fomentar ninguna clase de revolución, fuera política o mecánica (que consideraban estrechamente vinculadas), y se opusieron siempre a todos los proyectos para introducir el ferrocarril de vapor”.

⁴ Existen otras unidades de medición de trabajo calor: pie por libra fuerza (que equivale a 0.1383 kilogramos fuerza o kilográmetros), Joule, BTU, entre otras.

⁵ Sauvage E. *La máquina locomotora. Manual práctico descriptivo de los órganos y funcionamiento de la locomotora para uso de los maquinistas y fogoneros*, Librería Penella y Bosch, Barcelona (1905).

⁶ Sauvage E. *Op. cit.* Luego de explicar el procedimiento de cómo el calor logra que la máquina de vapor se mueva, el autor señala que existen otras unidades para medir la potencia. Tal es el caso del kilowatt, que son alrededor de 102 kilográmetros por segundo. Un kilowatt equivale a 1.33 caballos. Para convertir caballos a kilowatts se multiplica por la constante 0.736 el número de caballos. De manera inversa, para obtener caballos se multiplica 1.36 el número de kilowatts.

⁷ Togno FM. *Ferrocarriles*, Representaciones y Servicios de Ingeniería, S.A., México (1982). El ingeniero Togno fue un profesional técnico ferroviario que realizó una serie de proyectos, algunos de los cuales logró llevar a cabo. Fue director de Construcción de Ferrocarriles de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas; asesor técnico de la Subgerencia de Vías y Estructuras, de la de Planeación y Organización y de la Dirección General de Ferrocarriles Nacionales de México. Además de catedrático de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

⁸ Lamalle U y Legein F. *La locomotora. Manual práctico para los maquinistas y fogoneros*, Editorial Gustavo Gili, S. A., Barcelona (1954). Este tipo de publicaciones tenían como principal objetivo la capacitación y evaluación de los operadores de las máquinas. El responsable de guiar la locomotora es el maquinista y el fogonero era quien atizaba el fogón. Este puesto se transformó con la llegada de las máquinas diesel eléctricas.

⁹ *Idem.*

¹⁰ A las calderas se les dio la forma cilíndrica para que tuvieran mayor capacidad para el calentamiento, mayor resistencia, menos peso, menor superficie expuesta a enfriamiento, mayor sencillez en su construcción y facilidad para su limpieza y reparación. Algunas de las primeras calderas estaban colocadas verticalmente, y tenían forma de botella.

¹¹ Sauvage E. *Op. cit.*

¹² En el medio ferrocarrilero, estos tubos fueron conocidos como fluxes, fluses o flushes.

¹³ En las primeras calderas de locomotoras se utilizaban tiras de madera como aislante térmico.

¹⁴ La forma y tamaño variaba según el tipo de combustible que se utilizaba. Conforme se incrementó el poder calorífico, las chimeneas se fueron modificando. Algunas de las primeras locomotoras de vapor que quemaban madera (o leña) tenían chimeneas en forma de diamante.

¹⁵ Togno F. *Op. cit.*

¹⁶ Lamalle U. *Op. cit.*

¹⁷ Alzati SA. *La locomotora moderna. Estudio completo de la locomotora de vapor*, Casa editorial Beatriz de Silva, S. de R. L., México (1944).

Alfredo Nieves Medina, Centro de Documentación e Investigación Ferroviarias del Museo Nacional de los Ferrocarriles Mexicanos. cedif1@yahoo.com.mx