

2 - Tracción a vapor moderna y sostenible – el escenario cubano

José Olmo Pérez

Resumen: En el mundo actual hay un marcado esfuerzo de muchas personas e instituciones por mantener vigente la magia y poder de la locomotora a vapor, pero sobre todo, la tendencia es a conocerla como una reliquia histórica que ha despertado especial atención para un mercado vinculado con intereses turísticos y culturales.

Esta alternativa, sin dejar de ser atractiva para los posibles objetivos turísticos, se debería conjugar además con una política racional para el desarrollo sostenible de los sistemas de transportes públicos e industriales en base a la tracción a vapor moderna. La implementación de un programa integral orientado a introducir en los ferrocarriles de todo tipo, la moderna tracción a vapor es una contribución al ferrocarril del nuevo siglo y una propuesta de espacio ante la alta velocidad y los grandes trenes de carga adecuados para los nuevos retos del mercado de transporte.

La nueva tracción a vapor moderna dada la versatilidad de utilizar, tanto combustibles fósiles como, combustibles alternativos permitirá mantener en explotación bajo cualquier circunstancia parte del sistema ferroviario de un país sin necesidad de una dependencia total de petróleo importado, reduciendo gastos en repuestos diesel cada vez más costosos.

Las locomotoras a vapor modernas (o de nueva generación) combustionando mediante gasificación de la biomasa renovable, son neutras en emisiones de CO y NO_x e incluso consumiendo petróleo o gas reducen en un alto nivel la contaminación ambiental respecto a las diesel.

Durante 160 años, las locomotoras de vapor han estado presentes en los ferrocarriles cubanos. Hasta los años 50 era nuestro principal modo de tracción. Aún hoy se pueden ver funcionando unas 200 locomotoras de vapor de principio de siglo, en casi el 60 % de los centrales azucareros localizados en el territorio nacional. El Grupo IT (Asociación de Investigación y Producción del Transporte) está promoviendo y ejecutando el denominado Proyecto Prometeo, mediante un programa de modernización de estas locomotoras y un proyecto novedoso de construcción de máquinas de nueva generación bajo conceptos del vapor moderno.

La locomotora No. 1816 ALCO (2-8-0) fue modernizada y se encuentra puesta a prueba en Cuba a base de fuel-oil en una primera fase y biomasa en una segunda (bagazo de caña de azúcar compactado).

Una situación especial para Cuba es que coinciden todas las condiciones para desarrollar esta novedosa tecnología que por cuestiones coyunturales hicieron que el vapor tradicional no avanzara en otros países.

Promover la llamada **Tracción Verde** con locomotoras ecológicas se traduce en valioso aporte a la protección ambiental de nuestros países para un desarrollo sostenible y compatible con el bienestar que reclama la humanidad ante los umbrales del Siglo XXI.

1. Antecedentes y desarrollo de la tracción a vapor en el mundo.

La historia de este tipo de tracción mecánica comenzó en 1830, con el primer ferrocarril interurbano, entre Liverpool y Manchester. Por primera vez aparecían reunidos todos los elementos de un ferrocarril moderno.

Transcurrida una docena de años las velocidades de los trenes se habían duplicado, mientras el peso de las locomotoras se había triplicado, la potencia que desarrollaban se había cuadruplicado y se había alcanzado un grado aceptable de fiabilidad. Además, habían surgido dos tendencias de desarrollo bastante distintas a uno y otro lado del Océano Atlántico.

La máquina de vapor contó entre sus primeras aplicaciones en los medios de transporte, no solo ferroviario, sino también el marítimo-fluvial e incluso el automotor. Sin embargo, esta tecnología, tras largos años de

desarrollo, se "durmió" a pesar de estar aún bien distante de las posibilidades que las leyes de la termodinámica le concedían.

Con la aparición en el pasado siglo de la locomotora de vapor, el mundo cambió en pocos años al reducirse a una tercera parte o menos el costo y duración de los viajes. La locomotora de vapor marcó en muchos países el verdadero comienzo de la civilización; el ferrocarril marcó las pautas del futuro desarrollo económico de muchos países; Cuba es uno de los ejemplos más fehacientes de ello, como lo fueron también los Estados Unidos y algunos países europeos.

Sin embargo, la locomotora de vapor clásica no asimiló los avances de la termodinámica y de la tribología que a partir de los años 50 fue desarrollando impetuosamente la tecnología diesel y fue finalmente desplazada por esta. Los trabajos de ingenieros franceses y alemanes de la preguerra para revolucionar la tecnología de la locomotora de vapor nunca se generalizaron. Alemania perdió la guerra, y Francia tuvo que depender de tecnología clásica, suministradas a través del Plan Marshall como ayuda de los EE.UU. para rehabilitar los ferrocarriles franceses conformados entonces por unas 1500 locomotoras de vapor.

En 1926 un científico francés llamado Andre Chapelon había demostrado que la locomotora de vapor convencional era susceptible de progreso si se modificaba su diseño empírico por la termodinámica.

Del otro lado del Atlántico un joven ingeniero argentino, Livio Dante Porta, hace 50 años tuvo acceso a las innovaciones que el francés Chapelon y los científicos alemanes habían desarrollado; las aplicó en el prototipo de una nueva locomotora de vapor y después en la transformación de locomotoras japonesas adquiridas en los años 50 para el ferrocarril carbonero de Río Turbio, en la Patagonia.

Este entonces joven ingeniero logró duplicar el rendimiento de sus máquinas en términos de unidad de tráfico producida por unidad calórica consumida, y eliminó la mayor parte de los problemas que caracterizaban a las tradicionales locomotoras de vapor de ineficientes.

Los trabajos del ingeniero Porta y su tecnología innovadora, le dan fama mundial, y se llegaron a aplicar en la modernización de locomotoras de vapor en Sudáfrica, Gran Bretaña, Sudán, Brasil, Paraguay. Ante el alza de los precios del petróleo a principio de los años 80 se desarrolló en EE.UU el Proyecto ACE 3000 para la fabricación a gran escala de 17000 locomotoras de vapor ultramodernas, a carbón, figurando el ingeniero Porta como artífice principal de este proyecto.

Estos trabajos son ampliamente recogidos por la prensa especializada ante la realidad del fin de la era del petróleo barato. Pero no pueden desplazar el dominio que la tracción diesel ya había alcanzado.

La nueva baja en los precios del petróleo liquidó el Proyecto ACE 3000, que contaba con fuerte respaldo del gobierno de los EE.UU. con Porta como proyectista principal.

La nueva concepción del ingeniero Porta sobre la locomotora de vapor moderna en base a la tecnología de Chapelon, se basa en los sencillos principios de la invención de Stephenson (una caldera humotubular, una máquina de vapor, y pistones que transmiten la fuerza a las ruedas mediante bielas) pero en una mucho más perfeccionada termodinámica.

Es una técnica radicalmente nueva, aplicable a la modernización de locomotoras de vapor, por el diseño de su caldera, que logra una combustión prácticamente total, eliminando o reduciendo al mínimo la contaminación, su aerodinamismo interno, nuevos conceptos en el aparato de tiro, un óptimo aprovechamiento del vapor generado a mayores o muy altas presiones, en sus cilindros se aplican los avances tribológicos más actuales, y el perfeccionamiento de todos los mecanismos que pueden constituir pérdidas de potencia o fuentes de averías.

Entre los antecedentes de la aplicación a escala internacional de esta tecnología del vapor moderno están los siguientes:

- 1952 Construcción de una locomotora experimental de trocha estrecha tipo 4-8-0 FCGB, potencia medida en el gancho 2120 hp. Récord mundial de potencia por unidad de masa (31 hp_e/t) y de consumo específico de combustible (810 g/hp_e-h).
- 1953 Doce máquinas del tipo 8C, zona local, FCGR construidas en 1915. Modernización liviana. Estas máquinas con dos cilindros eran capaces de prestar mejor servicio que las 8E de tres cilindros.

- 1952-1957 Aproximadamente 50 locomotoras del tipo 8E FCGR construidas en 1927. Modernización liviana. Se logró un incremento de potencia de aproximadamente un 30 % y una mejora en el consumo de un 5 %.
- 1955 Modernización de la locomotora 3477. Construidas en 1915. Prototipo de modernización pesada de la serie 8C, servicio local FCGR. Con esto se logró un 80% de incremento de potencia a 100 km/h, hasta 1350 hp_e.
- 1956 Tres locomotoras locales tipo 30 ex-CGBA (PBA) construidas en 1906, trocha estrecha, modernización liviana. Se alcanzó un incremento en la potencia de aproximadamente 80 %.
- 1957 Una locomotora HUNSLET para el Puerto Capital en Argentina. Modernización liviana.
- 1962-64 Veinte locomotoras nuevas construidas en Japón entre 1955 y 1963, modernizadas para el ferrocarril de Río Turbio. Se logró un incremento de potencia de un 30 a 50%.
- 1969 Prototipo de locomotora 1802 serie C16 FCGB. Modernización liviana. Se alcanzó un incremento de potencia de 1100 hp_e a 1600 hp_e y un incremento de la productividad del combustible de aproximadamente un 70%.
- 1958-61 Prototipo de locomotora No. 4674. FCGB. Modernización pesada con la que se logró un incremento de potencia de aproximadamente 50%.
- 1982 Prototipo de locomotora No 2644 serie 19D perteneciente a los South African Railways. Modernización pesada ejecutada por el Ing. D. Wardale. Se alcanzó un incremento de potencia de aproximadamente 50%.
- 1983 Prototipo de locomotora No 3450. Serie 25 NC, perteneciente a South African Railways. Modernización pesada ejecutada por el Ing. D. Wardale según tecnología PORTA. Se logró un incremento de potencia de 2800 a 4000 hp_e y el consumo de combustible en tráfico ordinario se redujo en un 30% aproximadamente.

En el mundo hay una 20000 locomotoras de vapor localizadas en China, India, Sudáfrica, Polonia, Malasia, Cuba, Paraguay, Brasil, Zimbabwe, y en menor escala en muchos otros países. A partir de 1970 siguió la revolución de progreso silencioso del vapor moderno. En la última década la prestigiosa firma suiza SULZER-SLM ha estado ofertando y construyendo sus nuevas locomotoras de vapor H 2/3 para los ferrocarriles de cremallera en los Alpes Suizos.

Actualmente los servicios turísticos ferroviarios cobran relevante fuerza en todo el mundo, pero son especialmente los trenes movidos con locomotoras a vapor y vinculados a circuitos de interés turístico y cultural en determinadas regiones los que gozan de pleno vigor en los últimos años.

Hoy en día pueden verse locomotoras a vapor en circuitos turísticos en países tales como: China, Austria, Bélgica, República Checa, Francia, Alemania, Holanda, Italia, Latvia, Noruega, Polonia, Rumania, España, Suiza, Ucrania, Africa del Sur, Zimbabwe, India, Jordania, Estados Unidos, Argentina, Australia y Nueva Zelandia.

La máquina de vapor debe renacer hoy como un modo ecológico de transformación de energía. En los ferrocarriles de muchos países surge el vapor moderno caracterizado por la locomotora energéticamente sostenible, como una alternativa no solo para la tracción Diesel, sino incluso para la tracción eléctrica sobre todo cuando la intensidad del servicio no permite soportar los altos costos de sus instalaciones.

2. La nueva tracción a vapor y su integración en los ferrocarriles del mundo.

Los ferrocarriles de cualquier país necesitan una fuerte inyección de divisas para inversiones y para su mantenimiento, muy por encima de sus posibilidades, para poder sostener su misión como parte del Sistema Nacional de Transportes. En los ferrocarriles de muchos países se presenta el fenómeno de dependencia

económica formado a través de la implantación paulatina de la dieselización basado en la idea de un progreso irresistible, pero a su vez, con un fuerte compromiso para sus economías.

Cabe mirar el tema desde el punto de vista del negocio. En tanto que con el vapor el fabricante lo terminaba con la venta, con el diesel recién lo empezaba, siguiéndolo con los repuestos que dan al usuario ferroviario el carácter de cautivo. Y cuando termina de pagar la máquina luego de su corta vida se encuentra que debe seguir poniendo dinero para reiniciar el ciclo con una nueva compra o con un fuerte proceso de remotorización de sus unidades.

El servicio de tracción y sus equipos, por lo general representan la mayor parte de las inversiones en cualquier esquema de rehabilitación o simple sostenimiento de un ferrocarril. La fluctuación de los precios del gasoil es otro factor a tener en cuenta en el costo de la tracción, así como tampoco es despreciable el costo de lubricantes cada vez más caros. El gasto principal en el sostenimiento de un parque ferroviario diesel está dado por la demanda sistemática de divisas para partes y piezas. Se estima que una locomotora diesel necesite entre un 2 y un 3 % de su valor anualmente para partes y piezas. Por otra parte, según los actuales precios internacionales, por una locomotora diesel, por ejemplo de 1000 hp, representaría a un ferrocarril tercermundista invertir más de un millón de US \$.

Muy pocas líneas ferroviarias en el mundo admiten los costos de electrificación, aún en el caso de que se disponga de energía barata. En este marco, cabe considerar además, los gastos energéticos totales unitarios incluyendo no solo el gasto energético de la locomotora, sino valorando también los gastos energéticos de las instalaciones de generación de la energía, las pérdidas de transmisión, la consumida en la fabricación de los equipos y las pérdidas externas de este hasta convertirse en trabajo útil.

Para países donde existen locomotoras de vapor en operación (Cuba, China, Paraguay, Indonesia, La India, Sudán etc), la modernización puede ser una alternativa, sin obviar la adquisición de locomotoras de vapor modernas llamadas de nueva generación. Para países donde ya no exista el vapor, la locomotora de vapor moderna puede ser una opción, restableciendo o mejorando sus servicios de menores tráficos (maniobras y trenes ligeros).

Está demostrado que la tracción moderna de vapor es comparable y en ocasiones más eficiente desde el punto de vista del costo energético primario por kgf de esfuerzo de tracción en la llanta. Una estrategia de modernización de locomotoras de vapor, activas o paralizadas puede ser llevada a cabo en función de un esfuerzo inversionista dado, desde un mínimo hasta un máximo. Un alto % de las locomotoras de vapor que existan en cualquier país pueden ser reconstruidas y modernizadas para una nueva vida útil de no menos de 20 años (la vida útil de una locomotora diesel nueva), a un costo en divisas tres veces inferior a una reparación capital de una diesel, cuatro veces menos que el costo de una diesel de uso y 20 veces menos que la inversión en una diesel nueva.

La nueva tracción a vapor moderna permite mantener en explotación en cualquier circunstancia parte del sistema ferroviario de un país sin necesidad de petróleo importado, ni lubricantes caros ni partes y piezas de repuesto diesel cada vez más costosas, alternativa económica nada despreciable para nuestros países. De ser necesario adquirir locomotoras nuevas, los costos de inversión por hp en nuevas locomotoras de vapor son varias veces menores que en la tracción diesel. Las locomotoras de vapor pueden trabajar con fuel-oil, crudo bituminoso, cualquier tipo de biomasa compactada, leña o gas, alternativas que independizan el sistema ferroviario de coyunturas políticas o especulativas tan vinculadas al mercado petrolero.

Si el ferrocarril existe en nuestros países donde los niveles de eficiencia fluctúan con altas y bajas, lo esencial entonces es hacerlo trabajar. La alternativa de eliminación como sistema siempre será más cara, socialmente, ambientalmente, e incluso económicamente. Consolidar su parque tractivo para satisfacer servicios altamente demandados, y convertirse en empresas financieramente sanas es la variante en uso en los fines del Siglo XX.

La ventaja de un programa integral, orientado a introducir en los ferrocarriles de todo tipo, (no solo en los turísticos) la tracción moderna es un aporte al nuevo ferrocarril del siglo XXI. La alta velocidad y los super-trenes de carga, adecuados a países de alto desarrollo ferroviario, tendrán espacio, pero la alternativa de los ferrocarriles restantes necesitarán de una solución económica sostenible como podrá ser con la denominada "Tracción Verde" o Tracción a Vapor Moderna.

Otro aspecto relevante a considerar es la contribución que se pueda hacer a la protección del medio ambiente. La nueva tracción de vapor puede trabajar totalmente con biomasa, (leña, leña plantada, leña troceada, residuos de aserradero, residuos del bosque, residuos agrícolas o agroindustriales, bagazo de caña compactado, por ejemplo). Puede usar lubricantes de origen vegetal, con la excepción del aceite para los cilindros. Su tratamiento de agua se puede hacer con productos de alta integración nacional y biodegradables.

Las locomotoras de vapor, modernas o modernizadas, habilitadas para combustionar por gasificación de biomasa, serán neutras en cuanto al emisiones de CO₂, y de NO_x, e incluso, consumiendo petróleo, reducen en varias veces la emisión de contaminantes nocivos en comparación con las locomotoras diesel. Esta experiencia fue obtenida por la Universidad de Munich, en pruebas con locomotoras de vapor modernas construidas por SLM de Suiza.

La introducción de la nueva tracción a vapor en el esquema de transporte sostenible de un país, permite mejorar su entorno socio-económico al proporcionar nuevas fuentes de empleo y poner en tensión sus potencialidades fabriles, pudiendo aportar instalaciones y mano de obra. A su vez, contar con modernas unidades tractivas a vapor requerirá de la creación de empleos al personal de operación (manejo y mantenimiento), así como, para la preparación profesional de dicho personal y determinada asistencia técnica a esta novedosa tecnología.

3. El vapor cubano y el desarrollo ferroviario nacional.

El surgimiento y desarrollo del ferrocarril cubano en el siglo XIX es parte fundamental de la historia de nuestro país y del mundo. Cuba fue el sexto país en fundar su ferrocarril y el primero de Iberoamérica (1830).

Las necesidades económicas que habría de satisfacer el ferrocarril y que determinaron su temprana introducción, como su posterior difusión, conformó un aspecto esencial en el fenómeno histórico ferroviario de nuestro país. A diferencia de lo que sucedió en otros países, el ferrocarril en Cuba se desarrolló para facilitar los vínculos de los productores insulares con los mercados exteriores. En el marco de una entonces economía monoexportadora, el empleo del ferrocarril estaría determinado por las necesidades del principal y casi único producto exportable: el azúcar.

Hacia 1830, el problema del transporte terrestre constituía el punto crítico del ciclo azucarero. Ante las pobres perspectivas que ofrecían los medios de transporte convencionales, el ferrocarril constituyó la solución salvadora para los productores azucareros cubanos. Esto incentivó la construcción de una vía férrea que enlazaría el rico valle de Güines con la ciudad de La Habana.

Los ferrocarriles cubanos no pasaron como los de Inglaterra o Norteamérica por las clásicas fases de la tracción animal y posterior sustitución por fuerza a vapor. Como la invención estaba ya plenamente probada en los países industrializados y la urgente necesidad de los hacendados demandaban una solución radical en favor de la exportación del azúcar, este logro de la revolución industrial que era la locomotora de vapor se introdujo en el país con la más acabada tecnología del momento, es decir locomotoras de vapor generalmente de 6 ejes y según las normas de anchos de vía españolas, estas máquinas se caracterizaban por una particular disposición y corta distancia entre ejes que podían correr sin dificultad por curvas de mucho menor radio que las europeas.

A partir de las primeras "Rockets" del ferrocarril Habana - Güines, el parque tractivo de todas las empresas cubanas se nutrió básicamente con equipos provenientes de Filadelfia, Boston, Nueva York. Ya en 1868 habían en servicio en Cuba unas 176 locomotoras de vapor, combustionando inicialmente leña y, en pequeña medida, carbón inglés o americano.

Las nuevas locomotoras que se construían a partir de 1880, se adecuaban perfectamente a las ventajas que ofrecían otros elementos técnicos novedosos introducidos, como los carriles de acero. Entre las locomotoras preferidas por las empresas cubanas se encontraba el tipo "Consolidation", fabricadas en Filadelfia, las cuales tenían una caldera de gran capacidad, un nuevo tipo de válvula compensada más eficiente y 6 ruedas conectadas entre sí, con un velocípedo delantero y ruedas pequeñas en la parte posterior.

La presión máxima efectiva de vapor era de $9,3 \text{ kg/cm}^2$. Comparativamente estas máquinas eran mejores que modelos anteriores. Sus proporciones permitían incrementar su poder de arrastre en casi un 50 % más que las antiguas más potentes, con solo el aumento del 14 % en el peso y un 35 % en el consumo del carbón.

Es así que durante más de 160 años, las locomotoras de vapor han estado presentes hasta la fecha en nuestro ferrocarril. Hasta los años 50, era el principal modo de tracción en el país, con excepción de la Línea Eléctrica de Hershey (Casablanca-Matanzas) y alguna que otras locomotoras "Plymouth" de gasolina y gasoil dispersas en plantaciones cañeras.

Operando sobre diferentes anchos de vía: $56\frac{1}{2}$ " (ancho standard en nuestro país y el más universal), o en vías de las llamadas estrechas: 3', $2'10\frac{1}{2}$ ", 2'6" y $2'3\frac{3}{4}$ " pueden verse decenas de diferentes tipos de locomotoras de vapor trabajando en los ferrocarriles cañeros, algo difícil de encontrar en otros países. Los diseños más comunes de locomotoras de vapor en Cuba son:

- 2-6-0 (MOGUL);
- 2-6-2 (PRAIRIE);
- 2-8-0 (CONSOLIDATION);

y en menor escala las 0-4-0; 0-6-0; 0-8-0 y 2-8-2 (MIKADO).

Aún hoy, más de dos centenares de locomotoras de vapor sirven trenes en la industria azucarera cubana en donde la tracción a vapor es esencial para 56 Complejos Agroindustriales Azucareros (CAI), a lo largo de todo el país, de los cuales unos 30 operan exclusivamente con tracción a vapor. Aún en las condiciones de deterioro de las locomotoras de vapor actuales, la tracción de vapor tiene menores costos por unidad de tráfico que la diesel según se ha podido constatar en estudios realizados por el Instituto Superior Politécnico (ISPJAE) de la Habana.

4. La nueva tracción a vapor y la actual coyuntura cubana.

Desde el comienzo de la década del 90, nuestro país atraviesa una aguda crisis energética como consecuencia del recrudecimiento del bloqueo económico de los Estados Unidos, el derrumbe del campo Socialista en Europa, y el constante crecimiento de los precios del petróleo.

Se tuvieron referencias internacionales sobre adelantos tecnológicos para una tracción a vapor moderna desarrollados por el Ingeniero Argentino Livio D. Porta, prestigiosa figura internacional en materia de modernización de locomotoras de vapor y la actividad ferroviaria en general, que mejoraban substancialmente la eficiencia energética que fue antaño un argumento en contra del vapor.

El ingeniero Porta fue invitado en 1992 a colaborar con Cuba en la aplicación de su tecnología con el objetivo de reducir la dependencia de los ferrocarriles de la importación de combustible diesel iniciándose así el llamado "PROYECTO PROMETEO".

En el caso particular de los Ferrocarriles de Cuba, el parque de locomotoras diesel tiene en su mayoría más de 20 años de explotación y las limitaciones económicas para adquirir piezas de repuesto o equipos nuevos son cada vez mayores. Según análisis realizados por el Grupo IT, en el Esquema de Desarrollo del Transporte hasta el año 2000, se prevén hacia ese horizonte, incrementos modestos en los volúmenes de transporte de cargas y pasajeros por ferrocarril, no obstante mantenerse las condiciones de periodo especial y arreciarse el bloqueo de EE.UU contra nuestro país. Ante esta situación las capacidades tractivas de nuestros ferrocarriles en su conjunto (públicos e industriales) han sufrido un alto índice de deterioro, casi en su totalidad han vencido su vida útil. Reponer este parque significaría una inversión altamente costosa (se calcula en unos 100 millones de US \$) si solo se pensara en locomotoras diesel necesariamente importadas.

Como principio fundamental de esta nueva tecnología se evidencia claramente que la tracción a vapor que se propone no es una regresión a un pasado definitivamente muerto, sino una tecnología que se proyecta hacia el futuro con servicios de gran velocidad y tonelaje bien en consonancia con algo que en Cuba ya hemos hecho, la vía.

La industria azucarera tiene en existencia unas 100 locomotoras de vapor de vía standard cuya potencia y peso harían posible, una vez modernizadas, traccionar cualquier tipo de tren de carga o pasajeros una vez terminada la zafra en situaciones de emergencia o por conveniencia nacional. La industria azucarera cubana en cuanto a la tracción a vapor ha ido delineando en los últimos años una estrategia racional ante las realidades objetivas que enfrenta el país. Hoy, se plantea conservar la tracción a vapor hasta donde sea posible, y gana fuerza la opción de modernización total o parcial de algunas maquinas en función de las experiencias de la locomotora No.1816 totalmente reconstruida.

La recuperación de la producción azucarera en los próximos años demandará la reposición y ampliación del parque de tracción de los ferrocarriles azucareros. La alternativa de hacerlo con locomotoras de vapor modernas construidas en Cuba se presenta como una coyuntura racional. Como una posible solución para paliar la crisis se concibió valorar como la tracción a vapor podría tener un mayor papel dada la posibilidad de las calderas de las locomotoras de vapor de utilizar diversos tipos de combustibles (carbón, leña y fuel oil como mas usuales).

4.1. Locomotoras modernas de vapor para el Siglo XXI energéticamente autosustentables.

Dada la crítica situación que presenta el parque tractivo de los ferrocarriles cubanos cuyo deterioro se ha ido acelerando en los últimos años unido a la subutilización de las capacidades tractivas de este parque han compulsado a las autoridades ferroviarias a buscar soluciones racionales para enfrentar dicha problemática. Estudios realizados por el Grupo IT arrojan que el mayor peso (un 70 %) en este parque lo ocupan las locomotoras diesel de pequeña potencia (menos de 1000 hp), mientras que el nivel de disponibilidad técnica total del parque apenas supera el 45 %.

Como resultado de estos estudios se propuso como solución alternativa, la introducción de locomotoras a vapor modernas con potencias de 800 hp que se utilizarían para tarccionar trenes de carga ligeros, pasaje y trabajos de maniobra. Según análisis realizados a posteriori, la factibilidad de emplear este tipo de máquina ante una insatisfecha y creciente demanda de tráfico, requerirá incorporar para el año 2007 una 36 a 38 locomotoras de vapor modernas con el fin de sustituir similar cantidad de diesel en explotación con potencias equivalentes.

La introducción de estas nuevas unidades de vapor modernas estará en función de la factibilidad real de fabricación de estos equipos bien en el país o en el extranjero y la creación de condiciones de explotación requeridas. Estos aspectos están siendo estudiados por el Proyecto Prometeo en el marco del cual se ha realizado ya el proyecto técnico de una locomotora energéticamente autosustentable totalmente nueva, la denominada LVM 800.

Paralelamente se han realizado estudios sobre la fabricabilidad de esta máquina. Según evaluaciones de la industria sideromecánica cubana y expertos extranjeros, el país cuenta con la capacidad tecnológica y de proyectos para completar el diseño general incluyendo el sistema de combustión, los planos de taller y organizar la producción en Cuba de este tipo de máquina. El Proyecto apunta a introducir un prototipo de locomotora aún mas atractiva, que estará mejor adaptada a las condiciones locales de atención y con bajos costos de mantenimiento y operación.

La máquina está concebida como una locomotora térmica alimentada con biomasa. Tal tecnología no existe en el mercado. El diseño será tan simple, de modo que se pueda darlo en licencia a tantas industrias y países como sea posible. Será de fabricación soldada sin que medie ningún componente importante fabricado en acero fundido. La tecnología de avanzada descansa en principios bien desarrollados, como son algunos por ejemplo:

- mas altas presiones y temperaturas del vapor,
- un tiraje de mayor eficiencia energética,
- pre-calentamiento del agua y del aire con vapor de escape,
- aplicación de la combustión por gasificación,
- tratamiento de agua de avanzada excluye la corrosión,

- gracias a una mejor adherencia se puede contar con fuertes esfuerzos de tracción.

Como resultados aún en proceso, en 1997 se realizaron conversaciones con expertos suizos de la fábrica SLM, especialistas alemanes y norteamericanos interesados en esta tecnología. En estos momentos el Proyecto está en fase de búsqueda de financiamiento y evaluación de los costos de producción en plantas cubanas o extranjeras.

4.2. Experiencias cubanas en la modernización de una locomotora de vapor. (la ALCO 2-8-0 No. 1816).

La modernización de locomotoras de vapor ha sido definida como la aplicación parcial de los principios que se ejecutan en el diseño de locomotoras nuevas a las locomotoras existentes, sin introducir alteraciones estructurales y conservándose los componentes principales.

Esta aplicación se extiende en una amplia gama que comprende no solo a los distintos elementos de la locomotora sino a la teoría que la inspira como máquina termodinámica de transformaciones de energía, así como a los principios de operación y mantenimiento.

Los objetivos pueden ser muy variados si el proyecto se encara de modo general o muy específicos si se trata de alcanzar uno en particular. También puede presentarse de forma "pasiva", es decir, ver que se puede hacer con una determinada locomotora dentro de un marco dado de circunstancias de presupuesto tales como, tiempo, facilidades industriales, perspectivas de futuro, panorama energético, costos de tracción etc. Estos objetivos son los que se han perseguido con la modernización de la No. 1816.

5. Características de la locomotora 1816.

La locomotora No. 1816 es un tipo de máquina "Consolidation" 2-8-0, con dos cilindros de 20" X 26" (508 mm X 660 mm); ruedas de 50" (1270 mm) de construcción norteamericana por la ALCO en el año de 1919 para trocha de 1435 mm. El esfuerzo nominal de tracción para una presión de 180 lb/plg² es de 14432 kgf lo que supone un peso adherente de aprox. 60 Tf.

Su caldera es tipo Straight Top (envolvente redonda) con un Ø de 64" (1,63 m). Tiene 21 elementos sobrecalentadores (128/136; 31/38), los tubos chicos son de 2" (46/51). El área de la placa tubular destinada a los tubos grandes es menor de la mitad del total lo que indica una baja temperatura de vapor, menor de 330 °C. La alimentación de agua caliente se hace a través de una bomba recíproca y un intercambiador, o por inyector de carga. Los cilindros, conforme a los diseños de fábrica estaban muy mal aislados, la potencia máxima recién reparada es de aprox. 1440 hp y la máxima velocidad de diseño es de 80 km/h.

5.1. Modernización de la caldera.

Producto del estado técnico que presentaba la caldera original, se le realizaron trabajos de reparación de envergadura, utilizándose para ello diversas técnicas de soldadura, por lo que fue necesario efectuar un riguroso control de calidad de los trabajos de reparación de dicha caldera consistentes en:

- reparación por soldadura del cañón de la caldera,
- verificación del estado de los remaches de la caldera.

Los principales trabajos de modernización a la caldera consistieron en:

- Se construyeron placas tubulares nuevas, aumentándose la cantidad de elementos sobrecalentadores.
- Se construyó un eyector de tiro LEMPOR con lo que se disminuyó la contrapresión de escape.
- Raspado exterior y pintura anticorrosiva de la chapa exterior de la caldera.

- Reemplazo del conjunto de stays originales por otros tipo TROSS articulados.
- Aislamiento con lana de vidrio del cañón y el fogón de la caldera.
- Aplicación de la combustión por gasificación, (inyección de vapor de escape al aire primario, dos puertas para el hogar tipo guillotina, toberas de aire secundario).
- Fijación de la máxima presión de trabajo de la caldera; inspección de espesores; muestras de material, cálculos, regulación de válvulas de seguridad, prueba hidráulica.
- Construcción y montaje de la bomba de agua alternativa para alimentación de agua caliente a la caldera.

5.2. Modernización de la parte motriz de la máquina.

Como principales elementos modernizados en la parte motriz se relacionan los siguientes:

- Aislación "exagerada" de los cilindros de vapor empleando lana de vidrio con el objeto de disminuir al máximo posible las pérdidas de vapor por transferencia térmica al medio ambiente.
- Válvulas cilíndricas nuevas con 16 aros, lo que mejora substancialmente su efectividad, al elevar su hermeticidad interna.
- Camisas de válvulas de distribución nuevas con diseño avanzado.
- Embolo (pistón principal) nuevos con mayor cantidad de aros y de menor espesor para lograr mayor hermeticidad interna.
- Rectificación de cilindros, redondeo de bordes filosos que afectan el flujo de vapor (mejora del aerodinamismo interno).
- Nuevo sistema de prensaestopas Paxton - Mitchell para el vástago del pistón principal, contravástago y compresor de aire, lo que reduce substancialmente las fugas de vapor por dichos elementos recíprocos.
- Instalación de un compresor de aire adicional accionado directamente desde el mecanismo de distribución (disminuye el gasto de vapor del compresor principal y aumenta la capacidad de aire comprimido para el servicio de los trenes).
- Lubricación del mecanismo y las cajas de mechas y almohadillas, tuberías plásticas, aceite de cilindro, etc, para aumentar su autonomía en 2000 km sin habilitación.
- Revisión del equilibrado de las masas alternativas de la locomotora.
- Modificación del sistema de lubricación de los cilindros acorde con los requerimientos de trabajo del vapor sobrecalentado.
- Instalación de una bomba de pre-calentamiento de agua.

5.3. Modernización de la cabina.

Se introdujeron mejoras en las condiciones de trabajo del maquinista y del auxiliar dadas por un rediseño de la cabina. La más importante se logró al hacerla lo menos calurosa posible:

- Sacando al exterior todas las tuberías de escape.
- Aislando de madera el techo y paredes.
- Sustituyendo los grifos de prueba por un nivel.
- Replanteándose el diseño de la escalerilla y el pasamanos.

5.4. Modernización del alijo o tender.

Se aumentó la capacidad de combustible levantando con chapa soldada los laterales, frente, trasero, etc. La toma de agua consiste en un bolsillo que sale hacia afuera para recibir el chorro de habilitamiento. Se cambiaron los bogies por otros de mejor diseño (del tipo Sumitomo, japonés). Se colocaron mamparas ó rompeolas en el tanque de agua.

5.5. Tratamiento interno de agua para la locomotora modernizada.

La posibilidad de modernizar la locomotora de vapor 1816 para alcanzar una eficiencia energética superior (locomotora de 2da Generación) elevando la potencia de 1200 a 2000 hp, sustituyendo el diseño empírico por la termodinámica y empleando aros adicionales para reducir la pérdida de vapor por los cilindros además de otros adelantos tecnológicos, implican exigencias en el tratamiento de agua. Si en una locomotora de 1ra Generación (las que posee actualmente el ferrocarril azucarero) los fenómenos de formación de espuma, depósitos de sales insolubles (incrustaciones) y corrosión son perjudiciales, en las locomotoras de 2da Generación son inadmisibles. Es por esto que el tratamiento de agua debe ser riguroso de modo que no se produzcan ninguno de los efectos mencionados anteriormente.

En esta locomotora se utiliza un tratamiento de agua interno (en el alijo) que es un método de fácil aplicación y ajustable a cualquier calidad de agua a diferencia de otros que dependen de la calidad del agua de abasto.

Esta tecnología no es nueva, existe experiencia de su aplicación en los ferrocarriles franceses y argentinos pero los productos empleados en ambos casos no son de fácil adquisición en nuestro país, entre otras cosas por su elevado costo.

Fue por tanto necesario sustituir parte de los productos por otros nacionales de fácil obtención, así como variar la tecnología de obtención de otros de acuerdo a las condiciones de equipamiento de nuestros laboratorios.

Se diseñó una tecnología para el tratamiento de agua con una alta integración de productos nacionales y de fácil obtención en las condiciones de un laboratorio de control de los que posee la Unión de Ferrocarriles así como los ensayos de explotación en condiciones de zafra en un CAI.

Para lograr este objetivo fue necesario la síntesis de un compuesto antiespumante PA-1 a escala de laboratorio, la sustitución del inhibidor de corrosión, de importación, por uno nacional de iguales características, la fabricación del "Producto Unico" su puesta a punto en locomotoras de un CAI, y el análisis periódico de los parámetros del agua y de la formación de espuma) para la evaluación posterior de la efectividad del tratamiento.

La 1816 continúa con un riguroso Esquema de Pruebas donde una vez completada la instalación de la bomba de agua caliente, se procederá a medir los efectos de los cambios y nuevas tecnologías introducidas y el grado de incremento de su eficiencia.

6. Conclusiones.

El proyecto de modernización desarrollado presenta una locomotora reparada a bajo costo por capital invertido en su proceso (~ 30 mil US \$), capaz de utilizar tanto petróleo como biomasa local como combustible, la cual requiere de un mínimo de atención y mantenimiento.

Generalmente las alternativas que se ofrecen en el mercado internacional para los países en desarrollo resultan ser solamente máquinas de alta tecnología de corte occidental las que no pueden ser soportadas financieramente por la mayoría de nuestros países.

Este proyecto que actualmente promueve Cuba, concibe materializar la ingeniería de la nueva tracción a vapor para el siglo XXI, mostrando la viabilidad de utilizar locomotoras sostenibles capaces de hacer frente a los inconvenientes de la locomotora diesel cada vez mas sofisticada, con particular atención a las condiciones que se dan en los países en desarrollo.

A fin de alcanzar esta meta, no se hace necesario desarrollar ninguna tecnología costosa. Es posible combinar sistemas bien probados que datan de mas de un siglo con el inventario tecnológico de los tiempos que corren.

- Adoptar como política estatal la conservación y perfeccionamiento tecnológico de las locomotoras de vapor existentes en los países que cuentan con estas.
- Organizar la preparación para el desarrollo de la tracción a vapor en los politécnicos y escuelas técnicas adecuados con la cooperación del personal calificado en vapor de los talleres cercanos o de asociaciones, instituciones, etc que promuevan el nuevo vapor.
- Organizar seminarios técnicos, talleres y encuentros para diseminar el conocimiento de la tecnología moderna en la tracción a vapor entre directivos del transporte ferroviario, profesores, investigadores, proyectistas y técnicos en general.
- Generalizar el uso de la tecnología de tratamiento de agua para calderas empleada en las experiencias cubanas a diferentes grupos de locomotoras de vapor.
- Introducir en los trabajos de reparaciones mayores de locomotoras de vapor que se realicen algunas de las innovaciones desarrolladas por el proyecto cubano (Prometeo), mediante la adecuación de proyectos y la posible asesoría de los especialistas del Grupo IT (promotor del proyecto).
- La tracción a vapor juega un papel decisivo en la producción azucarera cubana, según experiencias obtenidas, sus costos de operación son inferiores a los de la tracción diesel, y hay nuevos elementos que permiten no solo conservarla, sino hacerla mas efectiva.
- La modalidad de empleo de locomotoras a vapor para servicios turísticos resulta una alternativa sumamente ventajosa para nuestro país dadas las potencialidades de que dispone el Sistema Nacional de Transporte con su infraestructura creada, pero aún mas por ser este el único país del mundo donde existe un verdadero museo viviente de locomotoras de vapor de principio de siglo y un buen número de instalaciones ferroviarias y entornos que se vinculan con la época o resultan pintorescos.
- Promover esta modalidad en Cuba con locomotoras ecológicamente neutras se transforma en un aporte a la protección ambiental y una contribución a la política de nuestro país para un desarrollo turístico compatible con la calidad ambiental.

La locomotora de vapor no ha desaparecido aún en los umbrales del siglo XXI. Resurge como el Ave Fénix sobre conceptos y tecnologías novedosas ofreciendo amplias potencialidades para el desarrollo sostenible de nuestros países y contribuyendo a la protección medioambiental de la humanidad.

Bibliografía

Porta L.D. Locomotora No. 1816. Primera propuesta de modernización. Habana. Cuba. 1994.

Porta L.D. Informe sobre la sustitución del petróleo en los ferrocarriles y centrales termoeléctricas mediante la gasificación de biomasa renovable. Habana. Cuba. 1992.

Revista "Vía Libre". Nrs. 401, 403, 404, 405, septiembre.1997; España.

Olmo Pérez José. Informes Técnicos sobre proyecto "Prometeo".

Olmo Pérez José. Valoración sobre la utilización de la locomotora de vapor moderna en un tren tipo. Julio 1994. Instituto de Investigaciones del Transporte. Habana. Cuba.

Zanetti O. y otros Caminos para el Azúcar. Habana. 1987.

Informes técnicos del Proyecto Prometeo 1996-1997. Colectivo de autores. Grupo IT.

Estudios de pre-factibilidad para el desarrollo de locomotoras de vapor de nueva generación en Cuba. Colectivo de autores. Grupo IT. Habana. Cuba. 1996.

Dirección del autor:

MSd. Ing. José A. Olmo Pérez
Asociación de Investigación y Producción del Transporte (Grupo IT)
Apto. Postal 17029
La Habana 17
C.P. 11700, Cuba
Tel.: +53 7 623051 al 58 ext. 33
Fax: +53 7 338250
e-mail: iitransp@transnet.cu

Locomotora No. 1816, construida en 1919, modernizada en Cuba en 1997.

Foto 1

Foto 2

Locomotora a Vapor Moderna LVM 800 (segunda generación) de 800 hp con 15000 kg de esfuerzo tractivo en el arranque, para velocidad máxima de 50 kph.

Apta para trochas desde 981 a 1676 mm y radio mínimo de curvas de 70 m. Tara de 30 tf balastada fuertemente con combustible y agua.

Proyecto que desarrolla Cuba para el vapor moderno del Siglo XXI.