

UN GRUPO DE INVESTIGADORES INGLESES ESTUDIA LA VUELTA AL VAPOR

LOS profesores británicos M. W. Thring, J. E. Sharpe y P. K. Le Sueur, del Departamento de Ingeniería Mecánica del Queen Mary College (Universidad de Londres), están investigando un nuevo mecanismo que, de dar resultado en la práctica, revolucionaría los sistemas de tracción aplicados al ferrocarril: la vuelta al vapor. Por más que parezca paradójico, según estos científicos, el ahorro de energía e incluso la preservación del medio ambiente podrían lograrse con el procedimiento que apareció así descrito en el número 153 de la revista "Spectrum".

Cuando la locomotora de vapor alcanzó su máximo grado de desarrollo, en la década de 1930, no se diferenciaba mucho de la diseñada a comienzos del siglo XIX, si bien era mayor y más potente. Máquinas de este tipo, sin prácticamente ninguna innovación, todavía funcionan hoy día. Por consiguiente, no es de extrañar que el surgimiento de las locomotoras Diesel y eléctricas llevará a los expertos de los países industrializados a considerar las locomotoras de vapor anticuadas y obsoletas. Otros países siguieron el mismo ejemplo, salvo algunas excepciones notables, y el vapor comenzó a desaparecer rápidamente de los ferrocarriles mundiales.

Sin duda alguna, esto habría constituido el fin de su historia, de no haber sido por un acontecimiento vital: la crisis de la energía y, especialmente, la escasez del petróleo. Sin petróleo (al menos con la tecnología actual) no podrían existir los automóviles en su forma tradicional, ni tampoco los aviones. Los buques podrían volver nuevamente a la propulsión por vapor. El mundo dependería fuertemente de los ferrocarriles para el transporte terrestre, pero sin petróleo para las locomotoras Diesel. La electrificación, con centrales eléctricas de carbón o nucleares, es una solución, pero existen muchos ferrocarriles cuya electrificación resultaría prohibitiva. Para éstos se necesitaría otra fuente de energía.

El generar vapor es fácil, pero para muchos la idea de retornar a esta tradición es rechazable. Ciertamente, la locomotora de vapor era sucia y maloliente; las cenizas tenían que ser vaciadas y era necesari-

• *La "combustión del lecho fluidizado" permitiría el ahorro de otras fuentes de energía más caras que el carbón.*

• *La locomotora a vapor que proyectan estos científicos dispondrá de todas las ventajas de las antiguas sin ninguno de sus inconvenientes.*

• *Una caldera "acuotubular" es el elemento básico del sistema propuesto por los profesores Thring, Sharpe y Le Sueur.*

rio alimentarla de carbón, engrasarla y encenderla horas antes de que empezara a funcionar, y su rendimiento térmico era de sólo un 8 por 100 como máximo. No obstante, tenía muchas ventajas que frecuentemente se olvidan hoy día: era fiable; las averías raramente provocaban una inmovilización total; podía producir una potencia enorme e instantánea y parecía durar eternamente. También podía funcionar continuamente con escasas revisiones (si bien a expensas del rendimiento), un factor muy apreciado en aquellos países en los que escaseaban los técnicos y abundaba el combustible. Y, lo más importante, podía funcionar con cualquier material combustible: carbón, fuel-oil, madera, gas, turba o remolacha.

He aquí, por consiguiente, un posible medio de energía para los ferrocarriles del

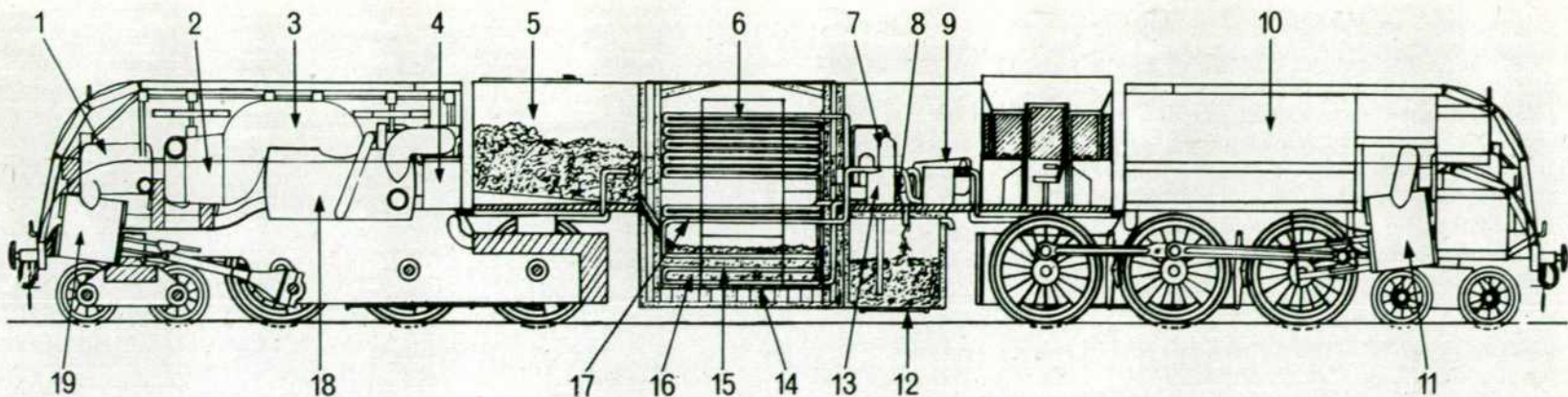
futuro. Ahora bien: se necesita una locomotora de vapor que posea todas las ventajas importantes y ninguna de las grandes desventajas de la máquina tradicional. Sobre todo, debe tener un rendimiento térmico comparable al de las locomotoras Diesel y eléctricas. Los científicos que trabajan en el experimento dicen lo siguiente de él:

MODELADO

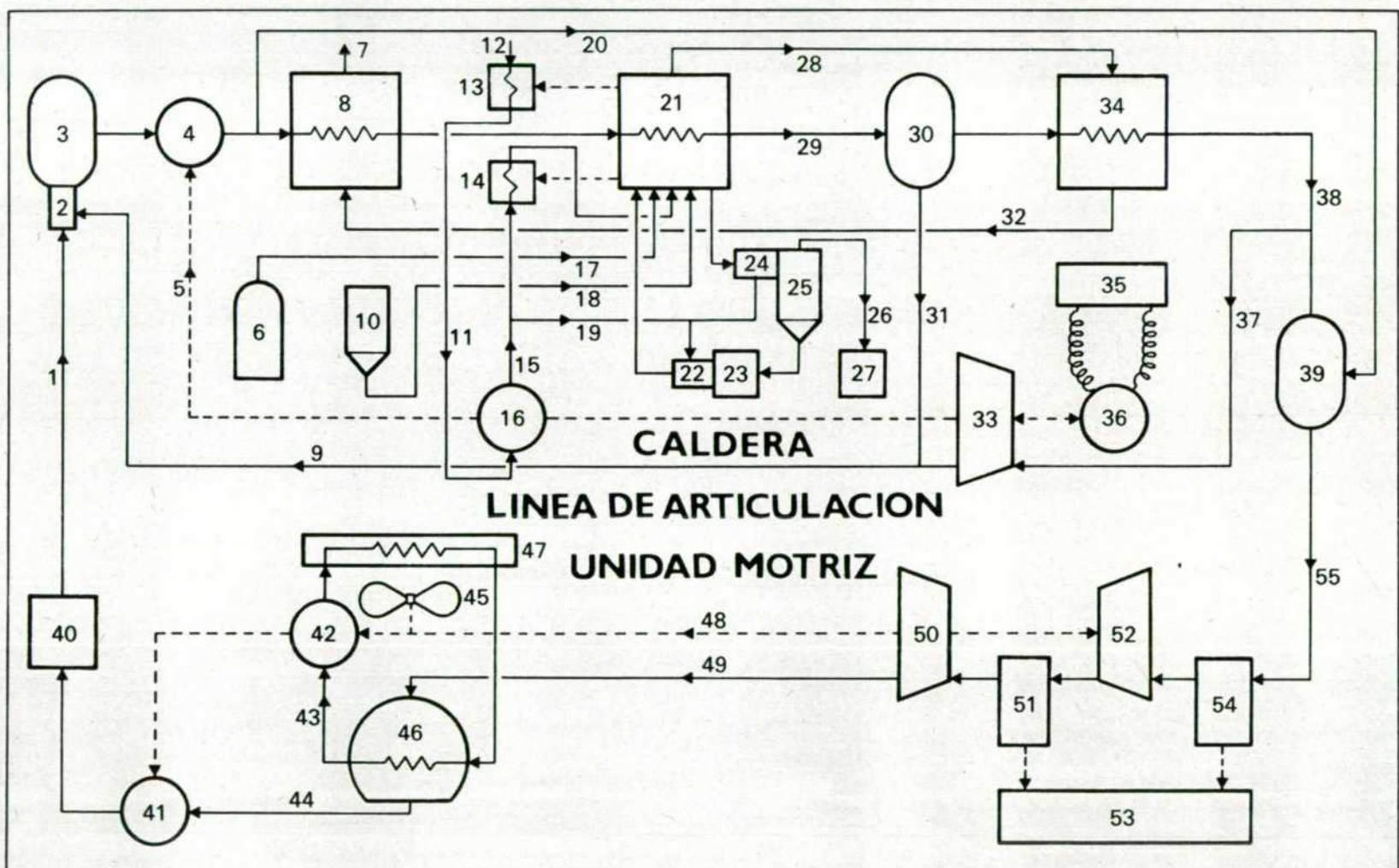
Nuestro proyecto de investigación, patrocinado por el Consejo de Investigaciones Científicas del Reino Unido, está dedicado al modelado matemático de ciclos de vapor que pudieran aplicarse a una locomotora de vapor eficaz y avanzada. Estamos empleando computadoras digitales y analógicas. Nuestro objetivo es determinar el comportamiento dinámico de los diversos sistemas y usar la información obtenida para diseñar un sistema de control que, debido a la gran complejidad de la máquina en cuestión, será mucho más complicado que el de una locomotora de vapor convencional. Aunque todavía no hemos completado el modelo matemático, ya ha surgido un modelo de locomotora muy prometedor. Este artículo versa sobre la descripción de dicha máquina y los razonamientos que nos llevaron a su adopción.

Nuestro principal objetivo era diseñar una locomotora de carbón en lugar de fuel-oil. Tomamos en consideración las turbinas de gas caldeadas con carbón, pero existen serios problemas de erosión en las paletas, y pronto resultó evidente que una máquina de expansión con un ciclo de Rankyne convencional y con agua como medio fluido era la mejor elección posible. Caba la posibilidad de usar otros fluidos, pero sus méritos eran pequeños comparados con su costo, escasez y riesgo de utilización.

Tras habernos decidido por una locomotora de vapor, el paso siguiente era descubrir los medios de incrementar su rendimiento térmico del 8 por 100 normal al 20 por 100 aproximado de la locomotora Diesel. Con el ciclo de Rankyne, esto puede conseguirse de dos formas: aumentando la presión de la caldera y reduciendo la



Alzado en corte de la locomotora propuesta. Está diseñada para desarrollar una potencia máxima continua de 2,5 MW, con un rendimiento térmico global de un 24,5 por 100. La longitud total es de 27 m.; las restantes dimensiones cumplirían con el gálibo británico normal. 1: Compresor. 2: Turbina. 3: Ramal de escape. 4: Depósito de alimentación del agua caliente. 5: Carbonera. 6: Tubos del calentador de alimentación. 7: Cilindro del gas de arranque. 8: Bomba alimentadora. 9: Turbina auxiliar. 10: Paneles de los radiadores. 11: Cilindro de baja presión. 12: Escotilla de vaciado. 13: Acumulador de calor. 14: Placa distribuidora. 15: Tubos de evaporación del lecho. 16: Lecho fluidizado. 17: Tubos del supercalentador. 18: Condensador. 19: Cilindro de alta presión.



Esquema de conjunto del ciclo propuesto. Para mayor simplicidad, sólo se ilustra una unidad motriz. 1: Agua de alimentación. 2: Inyector de agua. 3: Mezclador del vapor purgado. 4: Bomba alimentadora. 5: Energía a las bombas. 6: Cilindro del gas de arranque. 7: Escape. 8: Calentador de alimentación. 9: Vapor húmedo del escape. 10: Bomba alimentadora. 11: Carbonera. 12: Aire caliente. 13: Precalentador del aire de la primera fase. 14: Precalentador del aire de la segunda fase. 15: Aire caliente. 16: Soplante de aire. 17: Gas. 18: Carbón. 19: Aire. 20: Agua fría. 21: Lecho fluidizado. 22: Eyector de arena. 23: Colector de arena. 24: Inyector de arena. 25: Ciclón. 26: Cenizas. 27: Colector de cenizas. 28: Gas caliente. 29: Vapor húmedo. 30: Acumulador de calor. 31: Agua de drenaje. 32: Gas caliente. 33: Turbina auxiliar. 34: Supercalentador. 35: Acumuladores. 36: Motor de corriente continua. 37: Vapor purgado. 38: Vapor seco. 39: Desupercalentador. 40: Depósito de alimentación del agua caliente. 41: Bomba de aire húmedo. 42: Bomba de circulación. 43: Agua de refrigeración. 44: Condensado. 45: Ventilador de aire. 46: Condensador. 47: Radiadores. 48: Energía para las bombas. 49: Vapor húmedo. 50: Compresor. 51: Cilindros de baja presión. 52: Turbina. 53: Ruedas y tren. 54: Cilindro de alta presión. 55: Vapor vivo.

presión del escape de la máquina. Los ingenieros ferroviarios ya conocían estas posibilidades en las décadas de 1920 y 1930, en que se diseñaron muchas locomotoras especiales para tratar de obtener un mejor rendimiento global con una u otra de estas formas. Un estudio histórico intensivo reveló un enorme número de máquinas raras, algunas de gran éxito y otras menos satisfactorias.

CALDERA ACUOTUBULAR

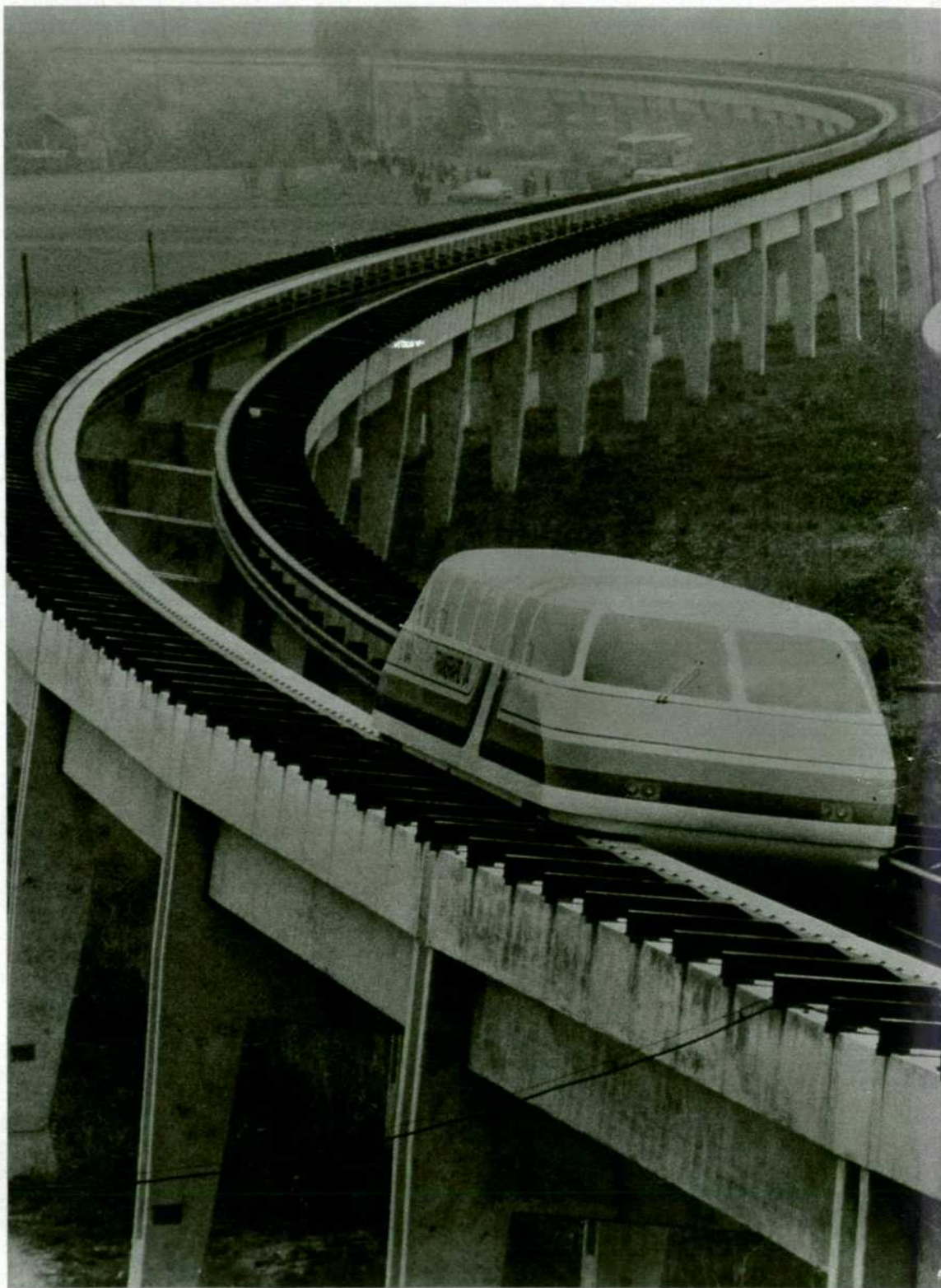
Para elevar la presión de la caldera unos 2 MPa. (megapascales) era necesaria una caldera acuotubular en lugar de una caldera de tubos de humos. Esto permite el empleo de presiones muy elevadas a un nivel razonable, conmensurado con una larga duración de la caldera; finalmente nos decidimos por una presión media de 4,5 MPa. Tuvimos que reducir la presión del escape y, teniendo en cuenta que el escape de una locomotora de vapor convencional evacua a la atmósfera, en nuestro caso hubo que disponer que el escape saliera a una presión inferior a la atmosférica o a un vacío. Esto hizo que fuera necesario condensar el vapor de escape. Cuanto menor sea la presión del condensador, mayor será el rendimiento del ciclo. Por consiguiente, elegimos una presión de 7 KPa. (kilopascales), porque esta presión nos daba la temperatura de condensador más baja y permitía al mismo tiempo su enfriamiento por aire atmosférico.

Proyectamos devolver el condensado a la caldera por bombeo, lo que exigía reciclar todo el agua, aparte de las pequeñas pérdidas de vapor por casquillos y prensaestopas, de forma que pudiéramos usar agua ablandada a fin de contribuir a una larga duración de la caldera.

El siguiente objetivo era garantizar una combustión libre de contaminación al máximo rendimiento, con sistemas totalmente automáticos de alimentación del carbón y vaciado de las cenizas. Todo esto podía lograrse empleando la combustión de lecho fluidizado. Un lecho fluidizado está compuesto de una cantidad de material inerte, como la arena, depositado en una "placa distribuidora" perforada. Al soplar aire por la placa se forman grandes burbujas que agitan el lecho, haciendo que éste se comporte en forma similar a un líquido en ebullición.

En nuestro caso, el movimiento de la locomotora facilitaría la fluidización. El carbón cargado en tal lecho se quema a unos 900° C. y caldea muy eficazmente los tubos de evaporación sumergidos en el mismo. Los gases calientes emanantes del lecho pueden ser utilizados en turbinas de gases, pero, por las razones ya indicadas, nos proponíamos usarlos para sobrecalentar el vapor y para calentar el agua de alimentación.

Un lecho fluidizado apenas produce con-



La contaminación: evitarla es un factor valorado al máximo a la hora de idear nuevos ingenios ferroviarios, como este electromagnético que se experimenta en Alemania Federal.

taminación. Su temperatura es demasiado baja para que las cenizas se fundan o para que se vaporicen impurezas como el potasio y el sodio, al tiempo que la gran cantidad de aire sobrante en el lecho impide la formación de monóxido de carbono. Añadiendo caliza a la arena, se impide la emisión de dióxido de azufre.

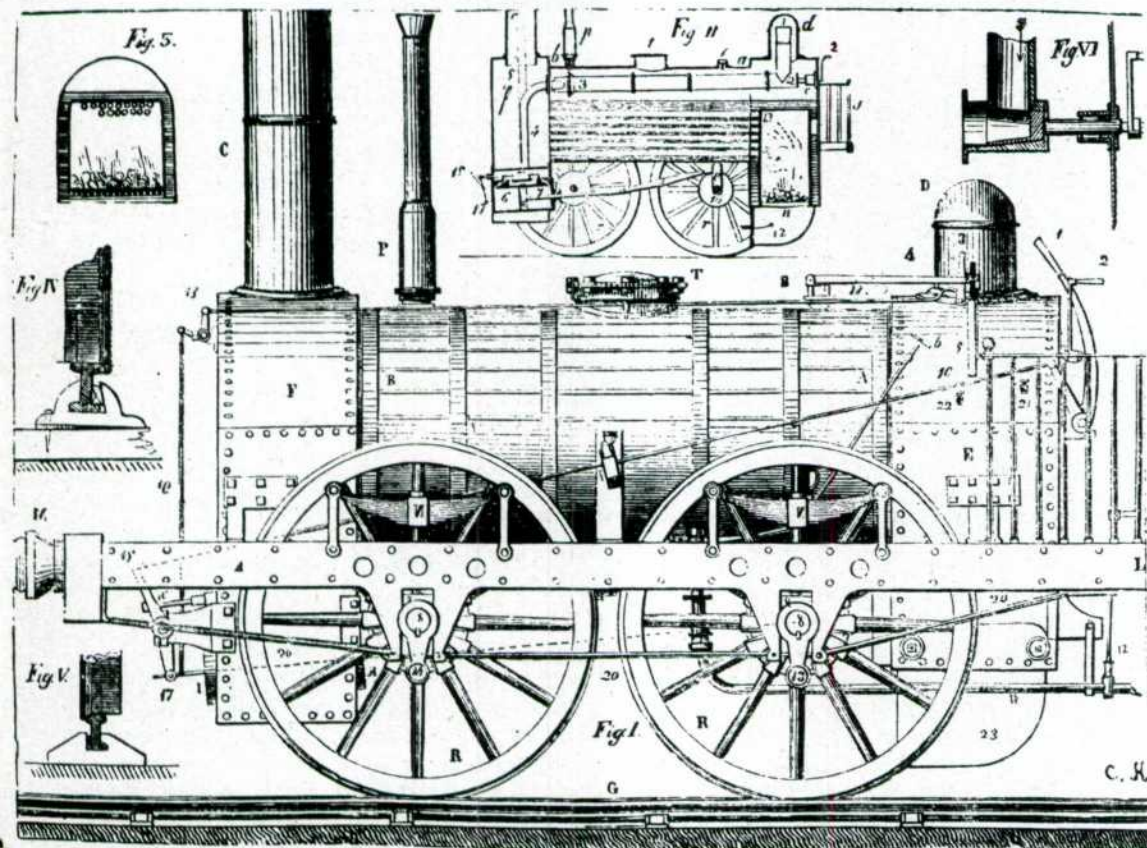
Las cenizas son removidas inyectando la mezcla de arena y ceniza del lecho a un ciclón, con un inyector accionado por la purga de parte del aire de fluidización. Separadas por movimiento centrífugo, las

cenizas suben por el ciclón y son depositadas en un colector, listas para ser vaciadas. La arena cae a otro colector y es devuelta al lecho por otro inyector de aire.

El lecho no precisa de una costosa maquinaria pulverizadora. Puede quemar carbón en trozos de cualquier tamaño hasta 25 mm. y, con sólo unos ajustes sencillos, puede ser convertido para quemar cualquier otro combustible. Una tolva o tornillo es lo único necesario para la alimentación del combustible, que se esparce por todo el lecho; esto contrasta favorablemen-



Los técnicos empezaron a considerar el vapor un sistema de tracción anticuado al introducirse la locomotora eléctrica.



De acuerdo con el profesor Thring y sus compañeros, cuando la locomotora de vapor alcanzó la cima de su desarrollo, en la década de los 1930, aquélla no se diferenciaba mucho del tipo de máquina usada en el siglo XIX. Este es el diseño de la "Stephenson" hacia 1830.

te con la exactitud de alimentación del carbón necesaria en una parrilla normal. El rendimiento de combustión es superior a un 98 por 100 y el lecho puede ser calentado en unos treinta minutos partiendo del frío, mediante gas propano mezclado con aire fluidizante y encendido por una chispa eléctrica.

Para la tracción ferroviaria hay que disponer de un par de arranque alto, con pares inferiores a las velocidades de marcha. Las locomotoras de vapor alternativas siempre desarrollaban estos pares, por cu-

ya razón elegimos una máquina alternativa para nuestro proyecto. Sin embargo, en el extremo de baja presión del ciclo, el volumen de vapor es tan enorme que las máquinas alternativas no pueden manejarlo. Una turbina puede aceptar volúmenes de flujo mucho mayores y es idónea para el extremo de baja presión, pero desarrolla su par máximo a la velocidad máxima, lo que, como evidentemente ya se demostró en el pasado, requiere una caja de cambios complicada o un sistema de transmisión intermedio, bien sea eléctrico, bien sea hi-

dráulico, para adaptarla a la locomoción.

El tratar de acompasar la transmisión directa del cilindro de alta presión con una turbina de baja presión y la transmisión correspondiente resultó ser un método poco deseable. Por consiguiente, adoptamos un sistema inventado originalmente por Götaverken, una empresa sueca, para uso en buques de vapor. Este sistema emplea la anergia de la turbina para accionar un compresor de vapor, que comprime y recalienta al vapor entre los cilindros de alta y baja presión de la máquina alternativa. La pérdida teórica empleando energía mecánica para calentar el vapor es inferior a la pérdida con una transmisión de turbina utilizada para propulsión. Además, si teníamos que utilizar un recalentador para sustituir al compresor, sería necesario extraer el vapor de los cilindros de baja presión, con las correspondientes pérdidas altas de calor por las tuberías y restantes elementos del sistema.

Por consiguiente, hemos visto que el sistema de turbocompresor constituye un medio conveniente y práctico de utilizar totalmente la pérdida de calor que se produce cuando la presión del vapor desciende a la presión del condensador, sin hacer a la locomotora más complicada mecánicamente. También permite el uso de la ya bien comprobada disposición articulada de Beyer-Garrett, con una unidad central que genera el vapor para dos unidades motrices idénticas.

REFRIGERACION

En el sistema que proponemos, cada unidad motriz condensa su propio vapor en un condensador de haces de tubos convencional, refrigerado por agua circulante. El agua es refrigerada, en radiadores montados alrededor del cuerpo exterior de la locomotora, por el aire circundante. De todos los sistemas de condensación

utilizados para locomotoras en el pasado, éste ha demostrado ser el más satisfactorio. El espacio total que ocupa es mucho menor que si se emplean condensadores refrigerados directamente por aire, porque la termotransferencia es superior. Estos condensadores también pueden proporcionar la calefacción para el tren.

Las turbinas accionan también los ventiladores de refrigeración de los radiadores, las bombas del agua de refrigeración y las bombas de "aire húmedo". Pero para que la caldera sea autónoma, se incluye una turbina auxiliar que acciona el soplante para el arranque en frío, con corriente extraída de los acumuladores, que son recargados por la propia máquina, actuando como generador cuando la turbina auxiliar se encuentra funcionando. El escape de la turbina auxiliar se mezcla con el agua de alimentación entrante para calentar el agua de alimentación de la primera fase del proceso.

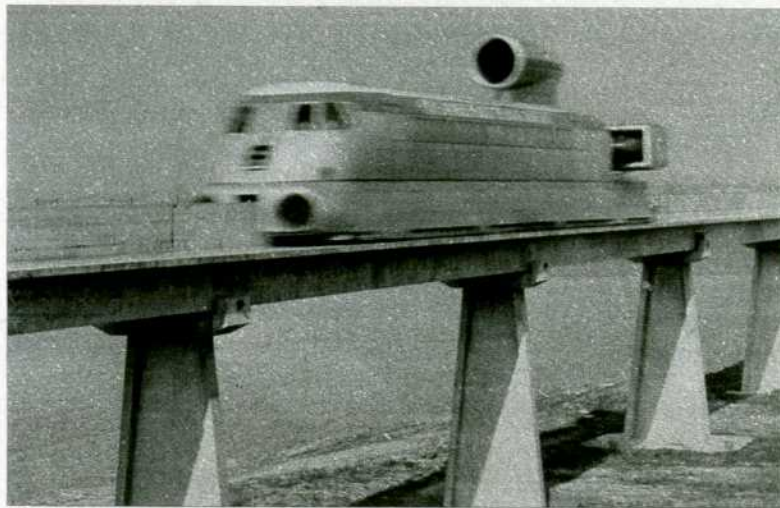
Un problema con las calderas acuotubulares es su rápida respuesta a los cambios de temperatura, pero esto constituye una ventaja en una locomotora, porque las exigencias de potencia cambian rápidamente. De hecho, los tiempos de respuesta de la máquina serán aún más cortos que los de la caldera, de forma que el suministro de vapor deberá mantenerse a la par con los mismos. En una locomotora de vapor convencional, el efecto de embalse de la caldera soluciona este problema. En nuestra máquina es solucionado por un "acumulador" de calor que contiene vapor y agua a presión, a continuación de los serpentines de evaporación. Este también seca el calor, que seguidamente pasa por el supercalentador a un desupercalentador, un dispositivo para regular la calidad del vapor cuando sea necesario antes de que éste llegue a las unidades motrices. Adicionalmente, un gran depósito de alimentación de agua caliente en cada extremo de la locomotora permite regular el abastecimiento de agua.

CONTROL

La locomotora está proyectada para ser controlada por una sola palanca, aparte de la "manivela de hombre muerto" y los frenos. La palanca acciona un sistema de control hidráulico que sincroniza el funcionamiento de los diversos elementos de la locomotora. Las válvulas de vástago de



La crisis energética mundial alteró los planes de quienes tenían una fe ciega en el petróleo.



El aerotrén; altas velocidades ¿pero a qué precio? Si los estudios del grupo británico de investigaciones son algo más que una fantasía, el vapor a partir del carbón volvería, curiosamente, a ser el medio de propulsión ferroviaria del futuro.

los cilindros y los mandos de cierre también serán de accionamiento hidráulico. En caso de avería, el maquinista podría anular el sistema automático y continuar accionando los elementos que no se encuentren averiados de la locomotora por medio de un juego completo de mandos manuales.

Nuestros estudios sobre los aspectos económicos de la locomotora demuestran que ésta sería superior en todo sentido a la tracción Diesel o eléctrica. En primer lugar, su rendimiento térmico global se ha calculado en un 24,5 por 100. Este es equivalente al rendimiento máximo de una locomotora Diesel, pero si hacemos el trazado del rendimiento máximo de una locomotora contra la velocidad, la curva es más plana que la de una Diesel, lo que significa que nuestra máquina sería más eficaz en la mayoría de las escalas de velocidades de marcha. El rendimiento de una central eléctrica de carbón es ligeramente mayor que el de la locomotora, aunque si se tiene en cuenta todo un sistema eléctrico, incluyendo las líneas de

distribución y los trenes, así como la propia central, la locomotora de vapor dispone realmente de un mayor rendimiento térmico global.

Los costos de adquisición también serían inferiores a los de una Diesel, que lleva un motor grande y complejo. Todos los elementos necesarios para el ciclo de vapor se hallan disponibles y han sido probados y demostrados en otras ramas de la ingeniería. Naturalmente, sería más barata que un sistema eléctrico, en el que han de incluirse los conductores eléctricos y demás instalaciones.

La máquina de vapor no necesitaría más entretenimiento que una Diesel, sería más limpia y produciría menos contaminación, como ya se ha explicado. También sería más fiable, y raramente se detendría por completo, como le sucede a una Diesel cuando se avería o a la locomotora eléctrica si se rompe la catenaria. Además, se evitaría el horroroso espectáculo de kilómetros de cables aéreos y postes de catenaria.

La locomotora que estudiamos actualmente es una máquina de 2,5 MW. (3.350 HP.) para expresos de mercancías o trenes semirrápidos de pasajeros, y sería idónea para dichos servicios, especialmente en la clase de viajes largos que se dan en la India, Australia, Rusia, China, Africa y las Amé-

ricas, regiones donde resulta improbable que la electrificación sea rentable; también podría tener aplicaciones en Europa.

Probablemente, el ciclo podría adaptarse a locomotoras de expresos de pasajeros a base de una transmisión totalmente de turbina o de bloque de motor, para eliminar el efecto de "golpe de martillo" de los cilindros exteriores. Podría construirse una locomotora pequeña de vía secundaria añadiendo una caldera y una cabina a una de las dos unidades motrices de la locomotora articulada, montadas en un bogie adicional y formando una locomotora tender de 4-6-4. Un ciclo similar con una caldera más pequeña y un bloque de motor de gran velocidad sería adecuado para un automotor ligero del tipo utilizado en los servicios de pasajeros de cercanías.

Creemos que, combinadas con los sistemas suburbanos electrificados (un sector en el que la locomotora de vapor no resultaría apropiada por su menor aceleración), las locomotoras que hemos esbozado proporcionarían toda la energía motriz que necesitan los ferrocarriles mundiales. ■