

y sólo se podrán, por consiguiente, emplear radios mayores que los normales cuando ω positivo sea mayor que γ ó negativo sea mayor que α .

Entre dichos valores $-\alpha$ y $+\gamma$ los radios normales son, pues, radios máximos, como en los cambios rectos.

ANTONIO PRIETO Y VIVES.

(Continuará.)

FERROCARRILES

(CONCLUSIÓN)

Con el vapor saturado las condiciones son completamente distintas. Para reducir á un mínimo las pérdidas por condensación, es preciso que las dimensiones de los cilindros sean lo menores posible, lo que obliga á exagerar las admisiones; esta diferencia entre el vapor saturado y el vapor recalentado constituye la superioridad de este último. Esta superioridad reconocida en las aplicaciones del vapor recalentado á las locomotoras del Estado prusiano, es la que ha conducido al aumento progresivo de los cilindros. La «característica» C de las locomotoras prusianas de simple expansión con vapor recalentado se expresa por la fórmula

$$C = \frac{d^2 l}{DR}$$

en la que

d = diámetro de los cilindros en centímetros.

l = longitud de la carrera en centímetros.

D = diámetro de las ruedas motoras.

R = peso adherente en toneladas.

Varía entre 26 y 36 y es mucho más elevada que la característica habitual y aun posible de las locomotoras de vapor saturado. La presión en la caldera es de 12 kilogramos por centímetro cuadrado. La sencillez de construcción y el aumento del rendimiento en las piezas del mecanismo, sin perjuicio de su duración, á pesar de la limitación de la carga por eje á 16 toneladas, las examinaremos más adelante; compararemos al propio tiempo los resultados con los del sistema compound combinado con un recalentado moderado.

No está de más indicar que los inconvenientes previstos por muchas personas competentes que provendrían de las piezas del mecanismo al trabajar continuamente con vapor fuertemente recalentado, no se han producido.

Ninguna de las dificultades prácticas que caracterizan el período experimental ha sido observada en el gran número de locomotoras (más de 1.000) de este género que están en servicio sobre las líneas del Estado prusiano. Los defectos de importancia secundaria se han corregido por completo, y desde hace seis años se ha llegado á tipos de émbolos, de cajas de distribución y de cajas de estopas, reconocidos como perfectamente durables á las más altas temperaturas del vapor. Se ha logrado también evitar las dificultades para el engranado, gracias al empleo de aceites cuyo grado de inflamabilidad es suficientemente elevado, combinado con un método sencillo de engranado á presión.

Economía de combustible y de agua.

La economía de combustible debida á la supresión de la condensación en los cilindros es, por término medio, de un 25 por 100, si se compara una locomotora de vapor recalen-

tado de simple expansión con una locomotora de vapor saturado, también de simple expansión y del mismo peso, y del 15 al 20 por 100, si la comparación se hace con una compound de dos ó cuatros cilindros. La economía de agua es mucho mayor en la generalidad de los casos, porque es preciso gastar más combustible para la producción de un kilogramo de vapor recalentado que para la de un kilogramo de vapor saturado. Cuanto mayor sea la proporción de humedad que contenga el vapor saturado, mayor será la economía de combustible y de agua. Esta economía en el consumo de agua, debida á un fuerte recalentado, permite recorrer etapas mucho mayores sin necesidad de tomar agua; este punto es de una importancia especial en las locomotoras-ténderes. Además, las calderas de vapor recalentado necesitan lavados menos frecuentes, y la presión de marcha menos elevada es favorable para un mayor tiempo de servicio. Por este mismo motivo, el campo de empleo de la importante clase de locomotoras ténderes puede ensancharse notablemente. Estas cifras relativas á la economía de combustible y de agua son medios prudenciales que pueden ser notablemente excedidas cuando se establece la comparación con locomotoras de vapor saturado, á las que se fuerza para que produzcan el mismo trabajo que la locomotora de vapor recalentado.

Por otra parte, hay circunstancias en las que no puede alcanzarse esta economía, pero estas excepciones no tienen lugar más que cuando los maquinistas son inexpertos en el empleo del recalentado ó cuando el servicio de trenes es incompatible con la realización de esta economía, como, por ejemplo, en los servicios suburbanos ú otros servicios locales, donde las paradas son muy frecuentes. Sin embargo, aun en estos casos la economía de combustible puede ser, por lo menos, del 15 por 100.

Para la apreciación práctica de la economía de una locomotora, la base más racional la da el consumo de combustible. Si nos limitáramos á comparar solamente los consumos de vapor, no se tendría en cuenta el grado de humedad del vapor saturado ni la temperatura del vapor recalentado. Esas cifras sólo tienen valor cuando se refieren al vapor saturado seco, á una presión determinada. Las mismas dificultades se presentan si se compara directamente el número de calorías necesarias para un trabajo determinado, por ejemplo, para un caballo-hora indicado. En efecto, para la locomotora de vapor saturado, este número sólo puede obtenerse partiendo de hipótesis más ó menos arbitrarias acerca de la cantidad de agua del vapor. Para la locomotora de vapor recalentado la determinación de este consumo depende de la elección de un valor medio para C_p .

Para las necesidades prácticas del servicio de las locomotoras, se deberá, pues, tomar como base de comparación los consumos de combustible. Se han dado reglas para la determinación *à priori* de la economía posible; pero todas parten de la hipótesis de que la economía aumenta proporcionalmente al recalentado, mientras que en realidad, según la experiencia del autor, la economía no empieza á manifestarse de un modo apreciable hasta un recalentado, por lo menos, de 50° C., para aumentar después rápidamente.

Doble expansión y recalentado.

El empleo del vapor fuertemente recalentado en la locomotora de dos cilindros de simple expansión bajo la forma actual, trae consigo un incremento tan grande de potencia, que los aumentos necesarios en el esfuerzo de tracción y en

la velocidad pueden obtenerse en condiciones económicas, sin que sea preciso acudir á las compounds de dos y cuatro y cilindros, que son de una construcción complicada y un entretenimiento costoso. Esta es una de las ventajas esenciales del recalentado, de que se ha sacado partido en gran número de locomotoras, más de mil, en servicio en los ferrocarriles del Estado prusiano; todas estas locomotoras son del tipo de dos cilindros, con una disposición muy sencilla de ruedas: esta administración ha desistido, casi por completo, de construir compounds de cuatro cilindros, de vapor saturado. Sin embargo, este ejemplo no se ha seguido en la escala que sería de desear en interés de la sencillez, de la economía y de la seguridad en el funcionamiento. Muchas administraciones de ferrocarriles, por falta de experiencia en el vapor recalentado, siguen con la compound de cuatro cilindros de vapor saturado, costosa y complicada, mientras que otras, no atreviéndose á abordar de frente el problema, combinan un recalentado moderado con el sistema compound. Esta cuestión es de tal importancia para la evolución futura de la locomotora, que la discutiremos más ampliamente sobre la base de la experiencia adquirida.

Pérdidas por condensación en los cilindros de una locomotora compound.

La doble expansión del vapor saturado y el recalentado fuerte llevan el mismo objeto, que es el de atenuar ó impedir las pérdidas por condensación en los cilindros, pérdidas que en las máquinas de vapor saturado de simple expansión alcanzan y á veces exceden del 35 por 100. Con el sistema compound se las puede reducir al 25 ó 20 por 100, mientras que empleando vapor recalentado á la temperatura de 320° ó 350° C., se consigue suprimirlas por completo, aun en la máquina de dos cilindros de simple expansión.

Para mejorar la locomotora compound se ensaya, desde hace algunos años, el combinar presiones más elevadas y expansiones más prolongadas en los cilindros grandes, con un recalentado moderado. Al contrario de lo que ocurre con la máquina fija, la locomotora trabaja en condiciones generalmente poco compatibles con el empleo de un recalentado fuerte. En las rampas largas, por ejemplo, puede ocurrir que sea necesaria una admisión de 60 á 70 centésimas de la carrera, durante largos períodos de tiempo, y un recalentado inicial intenso provocaría entonces una elevación tan considerable en la temperatura media del cilindro, que el engrasado sería difícil y habría peligro de una avería en el cilindro. Solamente reduciendo la relación de los volúmenes de los cilindros á 1 : 2, próximamente, se podría emplear un alto grado de recalentado en las locomotoras compound, porque entonces el cilindro de alta presión podría trabajar con admisiones menores.

El problema de saber si un recalentado inicial de 50 á 60° C. es suficiente para evitar las condensaciones en los cilindros, ha sido resuelto por los numerosos experimentos de Schmidt, que ha demostrado que esta temperatura es suficiente si la admisión no desciende á menos de 50 centésimas de la carrera. Pero con esta admisión, se agota el suplemento de calor, de modo que la expansión ulterior en el cilindro de baja presión tiene lugar en condiciones desventajosas. La máquina compound de vapor recalentado no podría dar una economía apreciable, con relación á la máquina de simple expansión provista de recalentador, más que si se conseguía evitar por completo las condensaciones en el

cilindro de baja presión, lo que necesitaría un recalentado á 300°. En la máquina compound, por razón de la menor caída de temperatura en cada cilindro, y también porque el vapor que sale del cilindro de alta presión utiliza en parte el calor tomado á las paredes; la presión á que comienza la condensación es más baja que en las locomotoras de simple expansión, pero la diferencia es despreciable.

Defectos de la locomotora compound.

Aun suponiendo que pudiera emplearse el vapor fuertemente recalentado en una locomotora compound, la economía de combustible sería pequeña relativamente á la que se realiza con una máquina de simple expansión con vapor fuertemente recalentado; y esta economía no compensaría seguramente el aumento en las dificultades de construcción, en los gastos de entretenimiento y la disminución en la facilidad de conducción, en la seguridad del arranque y en la utilización ueneral de la locomotora. Por de pronto no puede esperarse ningún aumento apreciable de potencia, puesto que el grado de admisión más ventajoso es una cantidad fija é invariable para un servicio determinado y una cierta temperatura media de recalentado. Esta es la razón por que se tacha á la máquina compound de falta de flexibilidad en las líneas de perfil irregular. Si se consideran, además, las dificultades para la arrancada, el aumento en los gastos de entretenimiento de la caldera debido á la excesiva presión inicial de 14 kilogramos y aun más, la mayor cifra de los gastos de establecimiento y entretenimiento de la máquina, se reconocerá que la pequeña economía de combustible, realizable sólo en condiciones especialmente favorables, no es suficiente para justificar la adopción de este sistema en ningún caso, sobre todo siendo preciso renunciar á las ventajas, mucho más considerables, del sistema de dos cilindros de simple expansión.

Gastos de establecimiento y de entretenimiento.

Después de haber demostrado en todo lo que precede las ventajas incontestables del sistema, quedan por examinar las objeciones basadas en el aumento de los gastos. El aumento de gastos debido al recalentador y á las mayores dimensiones de algunos órganos del movimiento, es relativamente pequeño, si se tienen en cuenta las ventajas mencionadas y la casi supresión completa de la doble tracción; es probable que este aumento de gastos se reduzca notablemente como consecuencia de la unificación de las piezas y de su producción en gran escala.

Es fácil comprender que durante el período experimental, se han cometido muchos errores. Cada nuevo tipo traía consigo problemas particulares, y la experiencia adquirida con cada uno de ellos se utilizaba en el tipo siguiente, de tal manera que al presente se ha llegado á la sencillez deseada, y los datos recogidos, en lo que concierne á la duración del recalentador y de otras piezas, y el trabajo que necesita su entretenimiento, son uniformemente favorables.

En lo referente á los gastos de entretenimiento, la experiencia con los recalentadores en los tubos de humo, en los ferrocarriles del Estado prusiano, comprende un período de masiado corto para que pueda pronunciarse una opinión definitiva, pero los excelentes resultados que dan en servicio regular, unidos á la experiencia de algunas Compañías de

otros países, justifican la opinión de que no ha lugar á temer dificultades sobre ese particular.

Sin embargo, es esencial que se observen rigurosamente las prescripciones relativas á la limpieza de los tubos, para evitar que se acumulen depósitos y dificulten el libre paso de los gases calientes, produciendo necesariamente una disminución en la potencia calorífica.

Como ya se ha dicho, en las antiguas locomotoras de vapor recalentado, las piezas del movimiento no estaban suficientemente reforzadas para el aumento de potencia, y la nueva forma de las cajas de distribución daba lugar á ciertas dificultades. Sin embargo, éstas se han resuelto por completo, y se puede afirmar con toda certeza que los gastos de entretenimiento de la más reciente de estas máquinas no son mayores que los de las máquinas ordinarias de dos cilindros, y son notablemente inferiores á los de la compound de cuatro cilindros.

La prueba la dan los resultados prácticos obtenidos con las locomotoras-ténder puestas en servicio en Febrero y Marzo de 1905, para la tracción de los trenes pesados de viajeros, de los arrabales; estas locomotoras han recorrido en diez y ocho meses de 100.000 á 120.000 kilómetros antes de entrar en talleres para grandes reparaciones; se observó entonces que el desgaste de los ejes y otras piezas de movimiento no excedía de los límites ordinarios; tampoco se produjeron dificultades especiales respecto al recalentador y á los cilindros.

Mr. H. Vaughan, del «Canadian Pacific Railway», declaró en 1905, en la Asamblea de los *Master Mechanics*, lo siguiente: «De un modo general, los gastos de entretenimiento de una locomotora de vapor recalentado no son necesariamente mayores que los de una máquina ordinaria de

las mismas dimensiones, porque si presenta algunos gastos suplementarios, éstos son compensados por economías; y en resumidas cuentas la diferencia no es grande. El valor del recalentador no depende más que de la relación entre el exceso del gasto de primera instalación y la economía realizada, y como los gastos de establecimiento ascienden actualmente á unos 5.000 francos, parece resultar que el capital invertido en la instalación de un recalentador puede considerarse como bien colocado». En las condiciones americanas, Mr. Vaughan cree que el precio de un recalentador se amortizará en dos años por las economías que permite realizar.

Mr. Flamme, Inspector general de los ferrocarriles del Estado belga, declaró en 1905, en la reunión de Lieja de la *Institution of Mechanical Engineers*, en lo que se refiere á la locomotora de vapor recalentado, tipo 35, que en diez y ocho meses de servicio regular no experimentó con esta locomotora dificultades particulares de ningún género, y que á consecuencia de los resultados uniformemente favorables el Gobierno resolvió extender su empleo en una gran proporción.

Sin embargo, es preciso no olvidar que en la conducción de las locomotoras de vapor recalentado, las prescripciones reglamentarias deben seguirse exacta é inteligentemente. Es, pues, indispensable no dejar conducir estas máquinas más que por agentes completamente iniciados en su manejo, y corregir, después de cada viaje, los menores defectos que se observen; convendrá que los depósitos estén provistos de cantidad suficiente de piezas de repuesto para poder reparar sin tardanza todas las averías que ocurran. Pero principalmente la buena instrucción de los maquinistas y fogoneros es de la mayor importancia si se quieren obtener todas las ventajas económicas que hay derecho á esperar del uso del vapor recalentado.—H.

Revista de las principales publicaciones técnicas.

El hormigón armado actual.

En los anales de *Ponts et Chaussées* de Julio y Agosto últimos, M. Charles Rabut, Ingeniero Jefe de Puentes y Calzadas, Profesor de la Escuela Nacional de Puentes y Calzadas, ha publicado un artículo con el mismo epígrafe de estas líneas y del cual vamos á hacer un extracto.

Me propongo, dice M. Rabut, precisar en pocas páginas el concepto que se debe en la actualidad tener respecto de los principios, modo de construcción y recursos que se pueden esperar del hormigón armado según los resultados ya adquiridos.

Si se prescinde de la madera, sustancia cuya producción es limitada, puede decirse que el arte de construir no descansa más que en dos materiales: la piedra y el hierro.

La construcción de piedra tiene, como es sabido, un pasado lejano; bajo las influencias combinadas del desarrollo de las comunicaciones, del progreso de la industria y del encarecimiento de la mano de obra, el tipo primitivo, mampostería sin mortero, ha evolucionado lentamente hasta la forma moderna, esencialmente industrial, del hormigón de cemento comprimido, la cual proporciona actualmente en la mayoría de los casos la unidad de resistencia á más bajo precio. La fábrica de toda especie formada de trozos yuxtapuestos y desprovista, por consecuencia, de resistencia al arranque, debe emplearse en macizos cuyas tres dimensiones excedan de un pie y cuyas formas sean tales

que no sufran esfuerzos de compresión, á saber: pilares y bóvedas. Pero en las obras cuya forma hace inevitables ciertos esfuerzos de extensión, como ocurre en los muros de los depósitos y en la mayoría de las obras construidas en el mar, el empleo de la fábrica da lugar á continuos é innumerables accidentes.

El hierro, producto reciente de una industria perfeccionada, posee una resistencia específica veinte veces mayor próximamente que la de la piedra, y además resiste al arranque como al aplastamiento. De esta última propiedad resulta la posibilidad de construir de metal vigas rectas que descaasen, ya sobre dos apoyos, ya en saliente formando cantilevers. Por razón además de la magnitud misma de su resistencia, el hierro se emplea normalmente en prismas ó barras de muy pequeña sección, si bien las barras comprimidas, estando expuestas á doblarse, han de ser arriostradas; de aquí el empleo de la forma en celosía usada, tanto en las vigas como en los pilares. La barra tendida, por el contrario, no tiene necesidad de arriostramiento, de donde resulta que la forma más ventajosa del elemento metálico no es la celosía de barras rígidas, sino el haz de cables flexibles. El arriostramiento en las barras comprimidas empleado para impedir su flexión, no cumple siempre su objeto, pues numerosos accidentes se producen, sobre todo durante el curso de ejecución de las obras.

En el estado actual de la industria, el problema capital de la