

LOCOMOTORAS COMPOUND

De cuatro cilindros y de gran velocidad del Ferrocarril de París-Li6n
Mediterr6neo.

POR MR. CH. BAUDRY

(Traducido por Enrique Labatut.)

La compa6a Paris-Ly6n-Mediterr6neo 6 puesto en servicio, en el curso del a6o 1892, tres locomotoras Compound de gran velocidad, de dos tipos nuevos que se distinguen del tipo creado por esta compa6a en 1888 y que figur6 en la Exposici6n de 1889, por una m6s grande potencia ligada 6 una disminuci6n considerable del peso. Mi predecesor, M. A. Henry, que ha estudiado las nuevas m6quinas, ha llegado 6 este notable resultado, por el empleo, como tubos de humo, de tubos con alas, sistema Serve.

DESCRIPCI6N GENERAL

Las nuevas locomotoras tienen, sin embargo, como las de 1888, calderas de planchas de acero timbradas 6 15 kilogramos por cent6metro cuadrado; pero el empleo del acero se ha llevado m6s lejos, extendi6ndolo 6 los fogones que en 1888 eran todav6a de cobre.

El número de cilindros es de cuatro, como en 1888; solamente los cilindros de admisión directa, en lugar de encontrarse en el interior, están al exterior y son los cilindros de expansión que se encuentran entre los marcos.

Los dos primeros accionan en un eje y los otros dos al que lo precede; los dos ejes se encuentran acoplados como en el tipo de 1888; pero, mientras que en 1888 estaban colocados los dos adelante del hogar y comprendidos entre dos ejes conductores, en los nuevos tipos son atraídos hacia atrás de la máquina, y la parte delantera de ésta está soportada, sea por un sólo eje de bogie, ó sea por un bogie de dos ejes.

El mecanismo de distribución de los cilindros de admisión directa, es del sistema Walschaert; el de los cilindros de expansión es de un sistema especial, sin excéntricos, empleado ya en los cilindros interiores de una de las locomotoras de 1888.

El cambio de marcha se hace como en estas últimas por un mecanismo único de contrapeso de vapor que manda á la vez las cuatro distribuciones y establece entre ellas, para cada grado de expansión, una relación independiente de la voluntad del maquinista y racionalmente determinada de antemano. En fin, las nuevas máquinas están dispuestas, como las de 1888, de manera de permitir la admisión directa del vapor de la caldera en el receptáculo intermediario entre los pequeños y los grandes cilindros, pero para salir de la inercia solamente, y sin que el vapor que viene de los pequeños cilindros se escape al aire libre.

Las tres nuevas máquinas no se diferencian, sin embargo, entre sí, sino en que dos son sostenidas por un bogie de dos ejes, mientras tanto que la tercera no tiene sino un sólo eje de bogie con juego lateral de 16 m/m, reglado por planos inclinados al décimo.

PESO Y POTENCIA

He dicho que el carácter distintivo de las nuevas máquinas era su poco peso relativo. En efecto, mientras que las máquinas C 1 y C 2 de 1888 pesaban en orden de marcha 53^t500 , las nuevas máquinas de bogie C 11 y C 12 no pesan sino 47^t900 y las sin bogie C 51, 45^t . Y sin embargo, las nuevas son notablemente más poderosas que las antiguas como es posible darse cuenta á primera vista por el cuadro siguiente:

	MÁQUINA C 1 DE 1888	MÁQUINAS DE 1892
Superficie de parrilla.....	2^m234	2^m232
Sección de pasaje de los gases en los tubos.....	0^m220	0^m226
En la plancha de la caja de fuego al medio.....	0^m230	0^m234
Superficie de calentamiento total....	119^m248	147^m280
Diámetro de los cilindros de admisión.	0^m310	0^m340
Diámetro de los cilindros de expansión.....	0^m500	0^m540
Carreras de los pistones.....	0^m620	0^m620
Diámetro de las ruedas motrices....	2^m00	2^m00

Pero, para hacer resaltar mejor la superioridad de potencia de las nuevas máquinas y para hacer mejor comprender como puede alinearse una disminución de peso, es necesario entrar en ciertos detalles de las experiencias ejecutadas en los talleres del ferrocarril P. L. M. sobre los tubos de alas, *sistema Serve*, experiencias que han sido el punto de partida del estudio de los nuevos tipos de locomotoras.

TUBOS DE ALAS

Los tubos Serve son lisos al exterior, es decir, del lado del agua; pero presentan al interior una serie de nervios longitudinales, ó alas, que se sumergen en la corriente de los gases que se dirigen hacia la chimenea, de manera á despojarlos más completamente del calor. Si en una locomotora cualquiera se reemplazase pura y simplemente los tubos lisos ordinarios por tubos de alas del mismo diámetro, y se la hiciese funcionar con el mismo tiraje, es evidente que el volumen de gas que pasa por tubos en la unidad de tiempo disminuiría á causa de la menor sección de pasaje y del aumento del frotamiento sobre las paredes, y, por consiguiente, el consumo de carbón sería menos. Es verdad que el poder calorífico del carbon consumido sería mejor utilizado; pero, apesar de esta mejor utilización, la cantidad de agua evaporada sería menor; la locomotora resultaría más económica, pero menos poderosa. Es, por lo demás, lo que sucedería con una locomotora de tubos lisos de un largo conveniente; en cuanto al caso de tubos lisos muy cortos, dejando escapar los gases de la combustión á muy alta temperatura, puede haber, no solamente economía de combustible, sino aún aumento de potencia al reemplazarlos pura y simplemente por tubos de alas del mismo diámetro. Pero tal no es el caso de las locomotoras P. L. M. cuyos tubos son en general muy largos. Así también la substitución pura y simple de los tubos de alas á los tubos lisos hecha en 1888 sobre una locomotora de carga, de 3 ejes acoplados, del tipo llamado Burbonés, con tubos de 4^m25 de largo, no dió más que resultados medianamente satisfactorios, por cuanto la economía de combustible netamente constatada tuvo como contrapeso una pequeña disminucíon de potencia.

Sin embargo, no habiendo dado lugar á ningún inconveniente práctico el empleo de los tubos de alas, M. Henry pensó que

sería interesante tomarlo en cuenta en el caso de las máquinas nuevas, con el fin de reducir el largo del caldero y, por lo tanto el peso de las máquinas, sin perder nada de la potencia ni de la economía. Con este objeto, y á fin de determinar por medio de experiencias precisas en que condiciones debería hacerse esta aplicación, hizo ejecutar, de Junio de 1889 á Junio de 1890, con tubos de alas de dos diámetros diferentes y de varios largos, ensayos de vaporización análogos á los que ejecutados anteriormente con tubos lisos y de lo cual dió cuenta en 1889 en el Congreso de los Ferrocarriles.

ENSAYOS DE VAPORIZACIÓN

Estos ensayos han sido hechos en nuestros talleres de París con la caldera que había ya servido para los ensayos de tubos lisos. Era una caldera especial compuesta de un hogar idéntico al de nuestras máquinas de pasajeros no Compound de la serie 111—400, y de un ramal tubular compuesto de un mismo número de tubos del mismo diametro que en esas máquinas, pero cuyo largo podía variar desde 7 hasta 2 metros á voluntad, pasando por los largos de 6^m, 5^m, 4^m50, 4^m, 3^m50, 3^m, 2^m50.

Para esto el tonel de la caldera era formada de planchas con collares, apernadas las unas á las otras, en lugar de planchas remachadas como se emplean generalmente; una de estas planchas era del hogar, la otra de la caja de humo, dispuesta como la de una locomotora 111—400; haciendo variar el numero y el largo de las planchas intermediarias, se daba al tonel y, por consiguiente, al ramal tubular el largo deseado.

ENSAYOS CON TUBOS LISOS

Hé aquí cuales eran los principales elementos de esta caldera durante los ensayos con tubos lisos:

Número de tubos. 185

Diámetro de los tubos.	{	exterior.....	0 ^m 050
		interior.....	0 ^m 046
Sección total interior de los tubos.....	{	corriente.....	0 ^m 23075
		al interior de las planchas t.	0 ^m 21883
Superficie de parrilla G. (proyección sobre un plano horizontal).....			2 ^m 224
Relación.....	{	$\frac{T}{G}$	0.137
		$\frac{t}{G}$	0.084
Superficie de calentamiento del hogar.....			10 ^m 212

Largo de los tubos	7 ^m 00	6 ^m 00	5 ^m 00	4 ^m 50	4 ^m 00	3 ^m 50	3 ^m 00	2 ^m 50	2 ^m 00
Superficie interior de los tubos líquidos.....	187m ² 15	160m ² 41	133m ² 68	120m ² 31	106m ² 94	93m ² 58	80m ² 21	66m ² 86	53m ² 47

El vapor producido por la caldera se dirigía á una cúpula con secador y toma de vapor, idéntico al de nuestras máquinas 111-400; este vapor era evacuado en la atmósfera, salvo la pequeña parte que alimentaba un soplete de corona colocado en la caja de humo.

La alimentación del soplete estaba dispuesta de manera á obtener y á mantener constante el tiraje deseado. Este tiraje era indicado por la depresión, medida en milímetros de agua, existente entre la capacidad del cenicero y el interior de la caja de humo.

Los ensayos con tubos lisos habían tenido lugar sobre tubos de bronce de 7^m a 3^m de largo. Para cada largo, se hicieron experiencias con y sin bóveda de ladrillos en el hogar, con y sin heridos Tenbrinck, y con tres tirajes distintos producidos por depresiones de 25, 45 y 75 milímetros de agua. Sin entrar en el detalle de los resultados obtenidos, es útil recordar aquí algunos de los principales resultados obtenidos con una bóveda de ladrillos en el hogar.

Á igualdad de tiraje, se ha comprobado que la cantidad de agua evaporada por kilogramo de carbón va siempre disminuyendo cuando se acortan los tubos; la disminución es muy débil cuando se pasa de 7 á 6 metros y aún á 5 metros; comienza á acentuarse entre cinco metros y 4^m50, se acentúa mucho más entré 4^m50 y 4 metros, y aumenta en seguida regularmente y bastante ligero cuando se baja á más de 4 metros.

Si en lugar de la cantidad de agua evaporada por kilogramo de carbón, se considera la cantidad total evaporada en la caldera durante un tiempo dado, la ley no es ya la misma. Cuando se acortan los tubos más abajo de 8 metros, esta cantidad comienza por crecer; pasa por un máximo entre 4^m50 y 4 metros, pero más cerca de este último largo que del primero; y luego después disminuye, y para los tubos de 3 metros cae un poco más abajo del valor que tenía para los de 5 metros.

Según esto, y considerando que la potencia de producción es generalmente la principal calidad que debe darse á las locomotoras para asegurar un servicio económico, M. Henry concluía, en lo que concierne los tubos lisos, que se debe preferir los largos de 4 metros á 4^m50, que aseguran el máximo de potencia dando con todo un buen rendimiento económico.

Si el exceso de peso, decía en su nota al Congreso de los Ferrocarriles, es necesario para aumentar la adherencia, ó no es de temer bajo el punto de vista de la acción de la máquina sobre la vía, es preciso más bien acercarse al tipo de 4^m50 que al de

4 metros, con el fin de aumentar el rendimiento económico; pero, aún cuando se busque la adherencia, no se debe sobrepasar sensiblemente de 4^m50 porque es expuesto á perder más en rendimiento; es preferible aumentar el peso por cualquier otro medio.

Sí, al contrario, se quiere alivianar la máquina, conviene acercarse á 4 metros. Más bajo de 4 metros, se aleja de más en más de la potencia máxima y se pierde de más en más en rendimiento; no es preciso pues bajar que si el peso debe reducirse á toda costa.

ENSAYOS CON TUBOS DE ALAS

Los ensayos con los tubos de alas han sido hechos con tubos de acero de dos diámetros distintos, 50^m/_m y 65^m/_m, teniendo las secciones representadas en las figuras 1 y 2, pero cuyos nervios habían sido retirados en cada extremidad, sobre un largo de 120^m/_m, para permitir su colocación.

Habían 185 tubos de 50^m/_m como en las experiencias con tubos lisos; pero no había más que 113 tubos de 65^m/_m.

En estas condiciones, los elementos principales de la caldera eran las siguientes.

	TUBOS DE 50 ^m /m	TUBOS DE 65 ^m /m
Número de tubos.....	185	113
Sección total interior de los tubos.....	0 ^{m2} 2676	0 ^{m2} 3005
Corriente T... En el interior de las plantas T.....	0 ^{m2} 1883	0 ^{m2} 2219
Superficie de parrilla (proyección sobre un plano horizontal) G.....	2 ^{m2} 24	2 ^{m2} 24
Relaciones { T..... G..... T..... G.....	0,119	0,134
	0,084	0,099
Superficie de calentamiento del hogar... { Con bóveda de ladrillos..... Con hervidor Tenbrink....	10 ^{m2} 12	10 ^{m2} 12
	14 ^{m2} 19	14 ^{m2} 19

Largo de los tubos....	4 ^{m00}	3 ^{m50}	3 ^{m00}	2 ^{m50}	2 ^{m00}
Superficie interior de los tubos... { de 50 ^m /m de 65 ^m /m	»	165 ^{m2} 24	141 ^{m2} 19	117 ^{m2} 14	93 ^{m2} 09
	163 ^{m2} 54	142 ^{m2} 72	121 ^{m2} 90	101 ^{m2} 08	»

Las experiencias han sido hechas con largos que variaban de 3^{m50} á 2 metros para los tubos de 50^m/m y de 4 metros á 2^{m50} para los de 65^m/m, y con tirajes de 25, 45, 75, 100 y 120 milímetros de agua.

No podríamos, sin salir del cuadro que nos hemos impuesto, dar aquí todos los resultados de estas experiencias.

Nos contentaremos con resumir, en los cuadros siguientes, las cifras relativas al consumo de carbón por hora y del agua evaporada por kilogramo de carbón:

Cuadro núm. I.—TUBOS DE ALAS DE 50^m/_m DE DIÁMETRO EXTERIOR

Tirajes de..... I	Largo de los tubos 2	BÓVEDA DE LADRILLOS					HERVIDOR TENBRINK				
		25 3	45 4	75 5	100 6	120 7	25 8	45 9	75 10	100 11	120 12
Consumo por hora P	3 ^m 50	0.338	0.470	0.600	0.690	0.647	...	...	...	..	...
	3 ^m 00	345	483	620	720	780	...	...	...	...	...
	2 ^m 50	395	524	672	780	842	395	525	700	820	900
	2 ^m 00	408	540	690	800	876	428	565	715	828	907
Agua evaporada por por hora E	3 ^m 50	3.365	4.653	5.910	6.762	7.298	...	...	...	...	...
	3 ^m 00	3.398	4.724	6.014	6.919	7.449	...	...	...	...	...
	2 ^m 50	3.804	5.004	6.357	7.292	7.814	3.832	5.045	6.664	9.707	8.388
	5 ^m 90	3.815	5.995	6.313	7.232	7.840	4.019	5.254	6.585	7.535	8.181
Agua evaporada por kil. de carbón E P	3 ^m 50	9.95	9.90	9.85	9.80	9.77	...	..	...	...	...
	3 ^m 00	9.85	9.78	9.70	9.61	9.55	...	...	...	...	...
	2 ^m 50	9.63	9.55	9.46	9.35	9.28	9.70	9.61	9.52	9.40	9.32
	2 ^m 00	9.35	6.25	9.15	9.04	9.95	9.39	9.30	9.21	9.10	9.02

Cuadro núm. 2.—TUBOS DE ALAS DE 65 m/m DE DIÁMETRO EXTERIOR

Tirajes de.....	Largo de los tubos	BÓVEDA DE LADRILLOS					HERVIDOR TENBRITK				
		25	45	75	100	120	25	45	75	100	120
I	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		kl.	kl.	kl.	kl.	kl.	kl.	kl.	kl.	kl.	kl.
Consumo por hora P	4 ^m 00	440	580	730	834	895	430	565	718	815	879
	3 ^m 50	445	589	742	859	935	435	572	725	825	905
	3 ^m 00	460	612	775	910	999	445	600	763	872	960
	2 ^m 50	470	635	800	925	1.025	451	610	778	886	980
Agua evaporada por hora E	4 ^m 00	4.246	5.475	6.709	7.498	7.903	4.170	5.379	6.699	7.506	7.972
	3 ^m 50	4.258	5.507	6.752	7.637	8.163	4.210	5.436	6.750	7.573	8.190
	3 ^m 00	4.301	5.581	6.859	7.853	8.432	4.250	5.622	6.997	7.874	8.544
	2 ^m 50	4.089	5.314	6.480	7.243	7.780	4.082	5.374	6.624	7.354	7.938
Agua evaporada por kil. de carbón E	4 ^m 00	9.65	9.44	9.19	8.99	8.83	9.70	9.52	9.33	9.21	9.07
	3 ^m 50	9.57	9.35	9.10	8.89	8.73	9.68	9.50	9.31	9.18	9.05
	3 ^m 00	9.35	9.12	8.85	8.63	8.43	9.55	9.37	9.17	9.03	8.90
P	2 ^m 50	8.70	8.40	8.10	7.83	7.59	9.05	8.31	8.51	8.30	8.10

La inspección de estos cuadros muestra que, para los tubos de alas como para los tubos lisos, hay un largo que da el máximo de vaporización. Este largo está comprendido entre 2^m50 y 2^m00 para los tubos de 50 m/m; es suficientemente exacta de 3^m00 para los de 65 m/m. Con mayores largos, se obtiene un rendimiento mejor; pero el consumo de carbón en igualdad de tiraje disminuye, y la cantidad de agua evaporada es menor. Con menores largos, se pierde á la vez en rendimiento y en vaporización total.

Conviene notar que el largo que da el máximo de producción es el mismo para todos los tirajes. Parece ser también el mismo para un tipo de tubos determinado, cuando las propor-

ciones relativas del ramal tubular y del hogar varían en los límites ordinarios. No hemos hecho experiencias sistemáticas para poner este último punto en evidencia; pero resulta indirectamente de las experiencias que se han hecho con tubos lisos de 4^m00, reduciendo el número de 5, 10 y 15%, sin cambiar en nada á la parrilla. Se ha constatado, en efecto, que estas reducciones progresivas no modificaban bastante la velocidad y la temperatura de los gases calientes para que la influencia del largo de los tubos sobre la vaporización pudiese ser diferente antes y después de la reducción del número.

El largo del máximo de producción no depende, pues, sino del tipo de tubos, y para los dos tipos de tubos de alas ensayados, corresponde á una misma relación de la superficie interior de calentamiento del tubo á la sección que ofrece para el pasaje de los gases.

Si, en efecto, se designa por:

L el largo del máximo de producción;

p el perímetro interior de la sección del tubo en la parte donde las alas existen;

p' el mismo perímetro en las dos extremidades de los tubos donde las alas han sido retiradas sobre un largo de 0^m120 á cada extremidad;

S la sección de pasaje de los gases al medio del largo del tubo.

La relación de la superficie de calentamiento á la sección de pasaje de los gases es:

$$\frac{(L - 0,240) p + 0,240 p'}{S}$$

Reemplazando sucesivamente en esta fórmula p , p' y S por sus valores correspondientes á los tubos de alas de 50 m/m y de 65 m/m, y tomando en el primer caso $L = 2^m 34$ y en el segundo $L = 3^m 00$, se encuentra la misma relación; 400.

Procediendo de un modo análogo para los tubos lisos de 50m/m respecto de los cuales el largo del máximo de producción puede ser considerado como igual á 4^m25 , se llega á una relación un poco más pequeña: 370; de suerte que no es posible presentar la regla de proporcionalidad de la superficie de calentamiento á la sección de pasaje de los gases, como una ley absolutamente general. Pero la identidad de las relaciones correspondientes á los tubos de alas de 50m/m y de 65m/m y su diferencia moderada de la sección correspondiente á los tubos lisos de 50m/m permiten determinar aproximativamente de antemano, por medio de esta relación común 400, el largo del máximo de producción para los tubos de alas análogos á los ensayados, pero de un diámetro algo distinto.

• Determinación de los tubos de las nuevas maquinas

POTENCIA QUE RESULTA

Respecto de las nuevas máquinas, no se ha tenido necesidad de recurrir á esta extensión de las conclusiones de los experimentos porque se ha adoptado uno de los tipos de tubos con aletas ensayados. Se ha dejado á un lado los tubos de 50m/m porque no permitían pasar la longitud de 2^m50 sin reducir su poder, y porque con una longitud tan pequeña el volúmen de agua en la caldera habría sido demasiado escaso. Se han escogido los tubos de 65m/m y se les ha dado la longitud máxima de producción, es decir, 3 metros. Si se hubiese acortado pura y simplemente un metro más ó menos, la caldera de la máquina C 1 reemplazando sus tubos lisos de 50m/m de diámetro y de 4^m35 de largo por tubos con alas de 65m/m y de 3 metros sin aumentar el diámetro del cuerpo cilíndrico, se habría obtenido un menor peso, pero la potencia habría permanecido casi invariable como lo demuestra el cuadro siguiente, en el cual apare-

cen las cifras del consumo del carbón y la producción de vapor obtenidos en la caldera de ensayos, con la longitud correspondiente al máximo de producción respecto de cada especie de tubos y con el tiraje de 75m/m.

	Largo de los tubos entre las planchas tubulares	VALORES ABSOLUTOS			VALORES RELATIVOS		
		Carbón consumido por hora	Agua evaporada		Carbón consumido por hora	Agua evaporada	
			Por hora	Por kil. de carb.		Por hora	Por kil. de carb.
		P	E	$\frac{E}{P}$	P	E	$\frac{E}{P}$
Hogar con bóveda de ladrillos	Metros	Klgs.	Litros	Litros	%	%	%
Tubos lisos de 50m/m.	4 000	740	6 666	9 00	100	100	100
Tubos de alas de $\left\{ \begin{array}{l} 50\frac{m}{m} \\ 65\frac{m}{m} \end{array} \right.$	2 500	672	6 357	9 46	91	95	105
	3 000	775	6 859	8 85	105	103	98
Hogar con hervidor Tenbrink							
Tubos lisos de 50m/m.	4 000	753	6 860	9 11	100	100	100
Tubos de alas de $\left\{ \begin{array}{l} 50\frac{m}{m} \\ 65\frac{m}{m} \end{array} \right.$	2 500	700	6 664	9 52	93	97	104
	3 000	763	6 997	9 17	101	102	101

Para aumentar el poder se ha agrandado ligeramente el diámetro del cuerpo cilíndrico llevándolo de 1^m26, (diámetro común á la caldera de ensayos y á la locomotora C 1), á 1^m32. Esto ha permitido colocar 133 tubos en lugar de 113, y la sección de pasaje de los gases en los tubos de 20 centímetros cuadrados á 26 centímetros cuadrados en las planchas de la caja de fuego, y de 30 centímetros cuadrados á 34 centímetros en el medio. Resulta luego, de nuestras experiencias que con tubos que tengan la longitud del máximo de producción siendo la misma la superficie

de parrilla, el poder de vaporización de la caldera varía casi como la $\sqrt{s \cdot S}$ llamando s la sección de pasaje de los gases en las planchas de la caja de fuego, y S esta sección en la mitad de la longitud de los tubos. Por consiguiente, llevando el valor de $\sqrt{s \cdot S}$ de $\sqrt{0,2 \times 0,3}$ á $\sqrt{0,26 \times 0,34}$ lo que corresponde á un aumento de 21% y conservando casi exactamente la misma superficie de parrilla, se aumentará 21% más ó menos el poder de la caldera.

Como consecuencia, el volumen de los cilindros ha sido aumentado de 20% conservando el mismo diámetro de las ruedas motrices; y de este modo es como se han obtenido máquinas con una potencia de 20 á 21% mayor, y cuyo peso, sin embargo, según lo hemos demostrado mas arriba, es 10% menor, respecto de las máquinas de bogie y de 15% respecto de las máquinas sin bogie.

HOGAR DE ACERO

La reducción del peso de las nuevas máquinas no se debe por lo demás exclusivamente al empleo de los tubos Serve; proviene también del empleo de hogares de acero lo que ha permitido economizar algo más de una tonelada de peso en cada máquina.

Esta aplicación ha sido hecha, reduciendo como los americanos el espesor de las paredes, que de 15m/m índice usado con respecto del cobre ha pasado á 10m/m; debo agregar que la misma reducción de espesor se ha hecho en el palastro que envuelve la caja de fuego que racionalmente se ha creído oportuno tratar como la del hogar á la que está ligado por las esquadras y por los tirantes.

(Continuará)

Tubos de Alas

