
ANALES DEL INSTITUTO DE INGENIEROS

Estudios sobre ensayos de locomotoras Compound en los Estados Unidos (1)

A pesar de que ya han transcurrido algunos años desde que se hacen sérios y completos estudios sobre las locomotoras Compound, tanto en Europa como muy especialmente en los Estados Unidos, no parece todavía que los distintos constructores esten perfectamente de acuerdo sobre el tipo más ventajoso de esa clase de máquinas que convenga adoptar; principalmente sobre el número y sobre la disposición de los cilindros; y es esto lo que ha dado lugar hasta ahora á las mayores controversias y discusiones, las cuales han sido largas en efecto, para elegir racionalmente el tipo Compound á que se debe dar preferencia.

Así se encuentran constructores que prefieren el sistema de 4 cilindros, disponiendo uno de alta y otro de baja presión de cada lado de la máquina y encima el uno del otro.

También existen locomotoras Compound con dos cilindros solamente, teniendo un receptáculo intermediario colocado entre los cilindros, y recurriendo por consiguiente al sistema articulado; esto tiene sus inconvenientes como lo vemos más adelante.

Otra disposición de los cilindros es de colocar los de alta presión al exterior de los marcos, y los de baja presión entre los

(1) *Proceedings of the Master Mechanics' Association* de la *Railroad Gazette* y de *La Revue Générale des Chemins de Fer*.



marcos, atacando un solo eje motor provisto de dos codos y de dos manivelas exteriores.

Este dispositivo tiene el gran defecto de cansar demasiado el árbol principal de la máquina, debido á los enormes esfuerzos que debe soportar.

Una disposición que varía de la precedente consiste únicamente en el modo de ataque de los ejes.

Los cilindros se encuentran dispuestos como en el caso anterior; pero los dos de alta presión exteriores atacan al eje motor de atras, y los dos cilindros de baja presión interior operan sobre el eje motor de adelante, el receptáculo intermediario encontrándose entre los dos grupos de cilindros.

El vapor pasa del primer grupo al receptáculo y de allí al segundo grupo para pasar en seguida á la chimenea. En este caso las dos máquinas pueden ser independiente la una de la otra.

Se encuentra también un tipo de locomotoras Compound en las cuales los cilindros de alta presión están colocados al interior y los de baja al exterior, inverso á los dos casos anteriores.

Del mismo modo cada grupo de cilindros ataca un eje motor separadamente. Los dos primeros atacan al segundo eje y los dos cilindros grandes al tercer eje.

Las ruedas motrices se encuentran acopladas por bielas.

Es igualmente muy adoptada la disposición llamada en *Tandem*, es decir, los cilindros se encuentran uno á continuación del otro, en grupos de á dos, y los dos émbolos teniendo una barra común.

En estas disposiciones en *Tandem*, los unos disponen los cilindros grandes adelante de los chicos, este caso es adoptado en los ferrocarriles del Estado Húngaro. La disposición inversa de ésta existe en los ferrocarriles del Sud-oste de Rusia,

En fin, existen locomotoras Compound de cilindros concéntricos; y otras que tienen tres cilindros.

Aunque existen muchos otros tipos distintos, variando en su mayor parte por el número y la disposición de los cilindros, hemos deseado solamente hacer resaltar las disposiciones principales más comunmente adoptadas.

Las distintas combinaciones creadas provienen en su mayor parte por puro capricho de los constructores, en otras es para someterlas todavía á estudios y comparaciones de las diversas clases imaginadas, y otros en fin provienen que son construídas según el objeto que se persigue realizar con la locomotora; las unas se constituirán con el propósito de que desarrollen una gran potencia, para arrastrar trenes pesados sin tomar en cuenta la economía de combustibles, otras intentan exclusivamente este último punto, y en fin se construyen también con el objeto de realizar las dos condiciones indicadas.

En una reunión de la Asociación de los «Master Mechanics» en la cual hubieron discusiones muy interesantes. M. Vauclain, ingeniero de los talleres Baldwin, se ocupó largamente sobre el tipo de Locomotora Compound que sería necesario dar preferencia, puesto que se han construído tantos tipos diferentes, como 600 locomotoras por 51 trochas de vías distintas.

La aplicación del sistema Compound para las pequeñas locomotoras es relativamente fácil, pero si se trata de máquinas poderosas, se presenta entonces problemas difíciles que resolver.

En este caso, Mr. Mallet, con su tipo de Compound de dos cilindros, recorre al sistema articulado, es decir, al acoplamiento de dos máquinas separadas, indicando entonces que este tipo no podía aplicarse más que en ciertos límites á las grandes locomotoras.

M. M. Worsdell y Von Borries han seguido el camino que había trazado, construyendo muy buenas locomotoras Compound de dos cilindros, pero la potencia de estas máquinas está léjos de igualar la de las fuertes locomotoras empleadas hoy en los Estados Unidos.

M. Vauclain piensa que sería malo aplicar en América el sistema Compound de dos cilindros á todas las máquinas. Ninguna vía sería bastante ancha para que fuese posible aplicarlo á locomotoras cuyos cilindros tienen 0^m558 á 0^m608 de diámetro, en razón del diámetro del cilindro de baja presión que sería menester colocar á uno de los lados de la máquina. Nadie, á su idea, no puede recomendar el empleo de cilindros de 0^m913 á 0.964 de diámetro en las locomotoras. Se está entonces obligado en adoptar la disposición de cuatro cilindros.

En este orden de ideas que estudió el dispositivo conocido bajo el nombre de *Compound de Baldwin*, que tiene un cilindro de alta y de baja presión de cada lado.

Este sistema presenta varias ventajas. Permite la supresión del receptáculo intermediario y da una mejor expansión de un cilindro al otro. Los dos cilindros de un mismo lado no tienen sino un solo distribuidor perfectamente equilibrado. Además, en caso de averías de un lado, la máquina puede caminar con el otro después que se ha desmontado las piezas quebradas.

El sistema Baldwin desarrolla una gran potencia al momento de ponerse la máquina en marcha y permite de poner en movimiento, sin dificultad, cargas pesadas, mientras tanto que la locomotora Compound, de dos cilindros, no puede sino muy difícilmente ponerse en marcha en gradiente ó con una grande carga.

M. Vauclain pide que la asociación de los *Master Mechanics'* nombre una comisión de hombres competentes encargados, no de indicar el mejor tipo de Compound, pero de pronunciarse sobre la oportunidad de adoptar uno de los sistemas de dos, tres ó cuatro cilindros.

Como se sabe, existen Compound de dos cilindros en los Estados Unidos; se encuentran también Compound Baldwin de cuatro cilindros, entre tanto que en Méjico funcionan las Compound Johnstone, de cilindros concéntricos y una Compound Webb de tres cilindros.

Los resultados dados por las Compound Baldwin han sido tanto más concluyentes que las máquinas construídas estaban destinadas á líneas extranjeras, en las cuales las vías eran distintas de las de los Estados Unidos. Recientemente la casa de Baldwin ha recibido un pedido de dos locomotoras, de potencia equivalente á la de las máquinas tipo *Consolidation*. La trocha de la línea era de 1^m434 y fueron aprobadas sobre la línea de la *Lehigh Walley*, teniendo gradiente de 19m/m, de una extensión de 18 kg. 9, asimismo que curvas y contra-curvas de 194^m de radio. El funcionamiento no dejó en nada que desear y los diagramas sacados, tanto en esos ensayos que en los ejecutados en el *Reading and Pensilvania Raibroad* (plancha I), son notables por la ausencia de contra-presión en el cilindro de baja presión y por la debil caída de presión entre los cilindros de alta y de baja presión. Si se les compara á los sacados en una máquina ordinaria, se constata una diferencia sensible entre las presiones finales. En la máquina ordinaria, el vapor penetra en el orificio de escape con una presión que puede variar de 7 kg. 87 á 4 kg. 50, mientras tanto que en la máquina Compound esta presión no es sino de 2 kg. 46 á 1 kg. 40, lo que representa una economía considerable.

El consumo de agua, deducido de los diagramas, ha sido, para la máquina ordinaria que era sin embargo excelente, de 32% más elevado que para la máquina Compound.

La economía es evidente. Además, si el escape es violento mucho combustible pasa al través de los tubos y va á llenar la caja de humo de escorias, de lo cual es preciso desembarazarse dos ó tres veces para un trayecto de 160 kilómetros.

Una máquina Compound puede, al contrario, caminar tres semanas sin que sea necesario limpiar la caja de humo. Es esto una nueva economía, en cuanto que en muchas compañías gastan sumas bastante fuertes para desacerse de esas escorias,

mientras que con la Compound Baldwin se las utiliza quemándolas en el hogar.

En todos los ensayos hechos con las Compound de este sistema, la economía de combustible ha sido siempre superior á la economía de agua. Si se las compara á las máquinas de la clase ordinaria, se llega á los resultados siguientes.

Con un tren pesado, la máquina Compound ha quemado, entre Altona y Harrisbourg, 5.893 kg. de combustible, mientras que la máquina ordinaria ha consumido 11.969 kg., aun remolcando cinco carros menos.

Los talleres de Baldwin construyeron 44 máquinas de ese tipo.

M. Barnes deseaba conocer la opinión de M. Vauclain sobre la mejor relación que adoptar para los cilindros de una locomotora Compound, y oirlo demostrar que era imposible de realizar con el sistema de dos cilindros.

M. Vauclain no piensa que se pueda obtener buenos resultados con una relación inferior de 3; se ha, sin embargo, algunas veces mantenido un poco más abajo, pero se prefiere una relación superior á ese número. Si ha, para ciertas máquinas, adoptado una relación inferior, era para mantener una progresión constante entre los diversos tamaños de los cilindros y evitar las fracciones de pulgadas. Sobre los tipos que ha creado los diámetros de los cilindros de alta y baja presión, crecen por medias pulgadas.

Los cilindros de alta presión de una máquina Compound equivalente á una locomotora ordinaria provista de cilindros de 0^m532 de diámetro no tienen más que 0^m342 , lo que, para una máquina Compound de dos cilindros de relación 1 á 3, conduciría á 0^m927 para el cilindro de baja presión.

¿Dónde colocar un tal cilindro y qué sería de los marcos? Un pistón de este diámetro debiera ser pesado para resistir á los esfuerzos que tendría que soportar, y su fractura es segura si,

por una causa cualesquiera, la válvula reductora le deja soportar un exceso de presión. No hay ninguna duda á este objeto si se considera el histórico de las Compound de dos cilindros, empleadas en América, en cuanto que las fracturas de los pistones que se han producido, y que eran inevitables, han ocasionado muchos fastidios.

M. Vaucrain, para mostrar la dificultad de emplear la Compound de dos cilindros, ha dibujado algunos diagramas (plancha II). Se puede constatar que, para este sistema, la relación más alta entre los cilindros es de 2, 1. Estos diagramas representan los cilindros de una máquina ordinaria y de máquinas equivalentes de Baldwin, Worsdell y Johstone, de cilindros concéntricos.

Se trata de saber cuál es el de los cuatro sistemas que sería preferible adoptar para todas las clases de máquinas, pero M. Vaucrain añade que, para máquinas de cilindros de 0^m608 de diámetro con 0^m710 de carrera, de las cuales ha tenido un pedido, la casa de Baldwin ha hecho todos sus esfuerzos para que esas máquinas fuesen Compound, en razón de las dificultades que se encuentra con el sistema ordinario para procurar vapor á los cilindros de esta dimensión.

M. Hickey, desearía conocer las objeciones de M. Vaucrain al receptáculo intermediario.

M. Vaucrain le reprocha de ser una causa de pérdida de potencia entre los cilindros y de absorber una parte del calor del vapor.

Esta pérdida de potencia es debida á que con el receptáculo intermediario el vapor se esparce antes de operar sobre el segundo pistón. Es además dudoso que se pueda recalentar el vapor durante su pasaje en el receptáculo y, si se examina los diagramas de una máquina Compound de dos cilindros, se constatará siempre una pérdida de potencia entre esos dos cilindros.

Los ingleses han encontrado que con este sistema de Compound se podía emplear ruedas de gran diámetro, pero es lo mismo con las Compound de cuatro cilindros en las cuales la velocidad del pistón ha alcanzado 7^m50 por segundo.

M. Barnes pide que se esclarezcan dos puntos: el primero relativo á las ventajas que presenta el sistema Compound, tanto para las máquinas pesadas como para las máquinas de expresos; el segundo sobre las condensaciones que se producen en el cilindro, causa misteriosa de economía de lo cual M. Vauclain no ha hablado. Desearía saber qué valor este último acuerda á la economía debida tanto á la reducción de esas condensaciones que á una mejor expansión.

M. Vauclain dice que según su opinión la reducción de las condensaciones es una fuente importante de economías y ofrece la prueba siguiente:

En una locomotora ordinaria el consumo de agua será de 25% superior á lo indicado por los diagramas, mientras que en una locomotora Compound la diferencia no será sino de 10%, de lo cual una economía de 15% sobre el tipo ordinario, economía debida á la sola reducción de las condensaciones. La temperatura del cilindro de alta presión está en efecto mucho más próxima de la del vapor de admisión en la máquina Compound que en la máquina ordinaria.

M. Barnes añade que sobre los diagramas dados, el consumo de agua es 50% menos considerable para la máquina Compound que para la máquina ordinaria, lo que añadido á los 15% encontrados en otra parte da 65% de economía.

Cree que toda la economía debida al sistema Compound puede deducirse del estudio de los diagramas.

M. Vauclain es de su opinión. La más grande economía corresponde al trabajo de plena potencia, y disminuye cuando la velocidad crece. En experiencias hechas en una Compound destinada á la Australia, M. Vauclain ha encontrado en gra-

diente un consumo de combustible poco diferente de la en horizontal, lo que parece inexplicable á primera vista. No fué sino calculando la vaporización por kilogramo de combustible que se dió cuenta de lo que se había pasado.

Si es necesario, en efecto, para remolcar en gradiente de $25^m/m$ más potencia que en horizontal y que se consume un poco menos de combustible, los diagramas solamente pueden dar la explicación.

Los diagramas sacados en gradientes indicaban un consumo de agua de 7 kg. 70, mientras que los correspondientes á la horizontal, es decir, cuando la máquina trabaja menos, indican una de 9 kg. 96; es decir que la pérdida y, por lo tanto, el gasto que ocasiona es de 25% aproximadamente.

M. A.—M. White (*de los talleres de Schenectady*), defiende la locomotora Compound de 2 cilindros, y principia por dar algunas informaciones sobre las máquinas construídas por los establecimientos á los cuales él pertenece.

Su director M. Pitkin, hizo un viaje á Europa para examinar por sí mismo lo que se hacía entonces. No encontró sino pocas máquinas Compound teniendo más de dos cilindros, y constató que la relación variaba de 2 á $2\frac{1}{2}$ sin sobrepasar jamás esta última cifra.

La máquina construída por los establecimientos de Schenectady es una máquina para pasajeros, de 10 ruedas, destinada al ferrocarril de *Michigan Central*. Puesta en servicio 18 meses, ha hecho, si se exceptúa algunos viajes con poca carga, un servicio los más pesados, tanto para pasajeros como para mercaderías.

Este suceso se encuentra confirmado por un nuevo pedido de una máquina igual, que, puesta en servicio cerca de un año, remolca con facilidad y economía trenes pesados y rápidos.

Dos nuevas máquinas Compound del tipo *Consolidation* fueron construídas por la compañía de *l'East Tennessee Virginia and Georgia* así mismo que una Compound para trenes de pa-

sajeros. Las máquinas del tipo *Consolidation* hacían parte de un lote de 18 máquinas iguales, entre tanto que la máquina de 10 ruedas era única y parecida á una máquina ordinaria construída anteriormente.

Estos dos tipos han marchado conjuntamente con las máquinas del mismo tipo. El resultado acusado por esas máquinas fué de los más satisfactorio, la economía habiendo variado de 17 á 30%, cifra desconocida.

M. J.—B. Michel, ingeniero en jefe de la división de máquinas de *l'East Tennessee Virginia and Georgia* á dado sobre sus funcionamientos los datos siguientes:

La economía de combustible realizada durante los últimos meses por la máquina Compound de 10 ruedas, sobre su similar del tipo ordinario, resalta según los datos oficiales, á 22.55%. Para las máquinas del tipo *Consolidation* subió durante ones meses á 17.12%. Durante un mes alcanzó para la primera máquina 23% y 19.5% para la segunda.

El consumo de engrasamiento, léjos de crecer, al contrario, á disminuído de 38% en los últimos 6 meses, lo que es debido á la reducción de gastos de lubricación del cilindro grande que no consumió sino la mitad de lo necesario al cilindro de alta presión.

Los establecimientos de Schenectady han también entregado á la compañía del *Southern Pacific* un par de cilindros Compound destinados á una máquina que hace parte de un lote de 10 locomotoras ordinarias de 0^m507 de diámetro, con 0^m660 de carrera, y de 12 ruedas construídas dos años antes. La máquina modificada ha hecho un servicio muy pesado sobre las gradientes del *Pacific* dando economías muy notables.

En fin, han entregado máquinas á las compañías de *Atchison Topeka and Santa Fe* y *Adiroddack and St. Lawrence*.

Uno de los argumentos contra la Compound de dos cilindros, es la imposibilidad, en caso de averías, de caminar con un sólo

lado. M. White se sorprende de una tal asersión y puede citar como ejemplo de lo contrario, la máquina Compound de *l'East Tennessee Georgia and Virginia* que ha funcionado con un solo lado durante la mitad de un viaje; condujo su tren al destino y volvió en las mismas condiciones.

Un hecho análogo se ha también producido en el *Michigan Central*.

Se puede notar sobre los diagramas presentados por M. Vauclain, que sobre la máquina Baldwin, el vapor de alta presión debe pasar en un distribuidor rodeado por el vapor de escape y cuyas aberturas son necesariamente pequeñas y divididas por lenguetas. Es aquello una disposición defectuosa, en cuanto que todo el mundo sabe que las camisas de vapor alimentadas por el escape no pueden dar buenos resultados.

El dispositivo que consiste de unir á una misma cruzeta las dos barras de pistones sametidas al mismo tiempo á presiones diferentes, parece á M. White, contrario á la mecánica. Exije una calidad de metal superior. Porque, después de todo, recurrir á la complicación de cuatro pistones, cuando dos bastan. M. Vauclain se ha avanzado mucho afirmando que se ha producido frecuentes fracturas de las barras de los grandes émbolos.

M. White no sabría tampoco estar del acuerdo de M. Vauclain, en lo que concierne el receptáculo intermediario. Lo encuentra muy útil, de acuerdo en esto con los ingenieros eminentes que han estudiado la cuestión á fondo.

¿El empleo de cuatro cilindros es necesitado por el ancho de la vía? La cosa es difícil de ser admitida por todos los que quieran reflexionar que las máquinas Compound, las más poderosas son de cilindros interiores. Es además eso una disposición secundaria, de la cual hay lugar de ocuparse en el momento del establecimiento de los planos.

Las locomotoras Compound son de más en más en favor y la forma la más sencilla es también la más adoptada.

M. Vauclain no ha querido decir que las Compound de dos cilindros no fuesen económicas; reconoce lo contrario como lo han probado las cifras encontradas hace algún tiempo, pero encuentra la economía insuficiente y prefiere por esta razón la Compound de 4 cilindros.

La crítica hecha por M. White relativa al vapor de escape que rodearía el vapor de alta presión, no es enteramente exacta. Como se puede ver sobre el croquis que somete á la asamblea, el vapor de alta presión entra por una extremidad del distribuidor y lo atraviesa en seguida para rendirse al cilindro de baja presión. Es por consiguiente á mediana y no á baja presión que el vapor de escape pasa al lado del vapor de alta presión; además M. Vauclain no conoce máquinas donde los vapores de alta y de baja presión sean separados por otra cosa que paredes metálicas.

En cuanto á las otras objeciones, son cuestiones de detalle que pudieran ser discutidas antes la comisión que pide el nombramiento. Para juzgar de la popularidad de los distintos tipos examinados, bastará decir que existe hoy día más ó menos 750 máquinas Compound de dos cilindros mientras que en menos de siete meses los talleres de Baldwin han construído 44 Compound de 4 cilindros de todas clases. La proporción es, pues, muy elevada al favor de estas últimas, puesto que al fin del año representaban $1/7$ del número total de las Compound. Una sola línea viene de hacer á la vez, un pedido de 17 máquinas de este tipo. Los talleres de Schenectady no han hecho sino seguir el rumbo indicado por cien otros antes de ellos; además, el distribuidor que primeramente emplearon ha debido ser reemplazado por otro, en razón de su defectuosidad. Seguramente la máquina Compound construída en *Rhode-Island* es muy buena, pero no es una razón para que todos los constructores se inspiren de este tipo. Sin embargo, M. Vauclain estuvo en instancias en Washington para obtener un privilegio relativamente á un sis-

tema de Compound de dos cilindros; construirá otras que de las que ha hablado y no quiere recomendar ninguna particularmente. Como constructor de locomotoras, construirá de todos los tipos según los pedidos. Es así que ha construido una máquina del tipo Worsdell que funcionará concurrentemente con una máquina de 4 cilindros.

Completaremos estos datos con unas experiencias comparativas ejecutadas por los talleres de «Rhode-Island» con una locomotora Compound y una locomotora ordinaria.

El objeto de estas experiencias era de determinar el valor relativo de las dos locomotoras colocadas exactamente en las mismas condiciones de establecimiento y de funcionamiento.

Las condiciones en las cuales estas experiencias han sido ejecutadas, el cuidado que se ha llevado, y sobre todo la identidad perfecta de las dos máquinas ensayadas, excepto en lo que concierne á los cilindros, les da un gran interés.

Estos interesantes ensayos han sido llevados á cabo sobre dos máquinas de 4 ruedas acopladas con bogie del tipo de «Forney» y empleados en los «Elevated Railroads» de Nueva York donde tuvieron lugar las experiencias.

Las dimensiones principales de estas dos locomotoras se encuentran consignadas en el cuadro siguiente:

	MÁQUINA COMPOUND	MÁQUINA ORDINARIA	
Diámetro de la caldera.....	1 ^m 060	1 ^m 060	
Tubos... {	Diámetro	0,037	0,037
	Largo	1,778	1,738
	Número	124	124
Sistema de parrilla	Barrotes de agua	Barrotes de agua	
Dimensiones de la parrilla.....	1 ^m 390 × 1 ^m 040	1 ^m 390 × 1 ^m 040	
Superficie de la id.....	1 ^m 9459	1 ^m 9459	
Id. de calentamiento del hogar...	4 ^m 921	4 ^m 921	
Id. de id. de los tubos...	22,67	22,67	
Id. de id. total.....	26,88	26,88	
Relación de la superficie de calentamiento á la superficie de parrilla.....	18,5	18,5	
Cilindro de alta presión..... {	diámetro.	0 ^m 292	0 ^m 279
	carrera...	0,406	0,406
Id. de baja presión..... {	diámetro.	0,457	»
	carrera..	0,406	»
Luz de admisión del cilindro {	largo.....	0,022	0,022
	A. P.....	0,253	0,216
Luz de admisión del cilindro {	largo.....	0,025	»
	B. P.....	0,432	»
Luz de escape del cilindro {	largo.....	0,050	0,044
	A. P.....	0,253	0,216
Luz de escape del cilindro {	largo.....	0,050	»
	B. P.....	0,432	»
Espacios muertos del cilindro A. P.....	11 ^o / _o	8 ^o / _o	
Id. id. del id. B. P.....	10,2 ^o / _o	»	
Diámetro del tubo de admisión, cilindro			
A. P.....	0,050	0,076	
Id. id. id. id. B. P....	0,088	»	
Id. del tubo de escape.....	0,076	0,082	
Id. de la barra de los pistones.....	0,050	0,050	
Id. de las ruedas acopladas.....	1,060	1,060	
Sistema de cajones	Equilibrado	Equilibrado	
Carrera máxima	0,127	0,101	
Recubrimiento exterior del cajón A. P..	0,022	0,016	
Id. id. id. B. P..	0,025	»	
Repartición {	sobre las ruedas acopladas.	14,304kg	14,100 kg
	de la carga. } sobre el bogie.....	6,493	6,493
Peso total en carga.....	20,797	20,593	

Se notará que así mismo como se practica en Europa, los espacios muertos del cilindro de alta presión, han sido aumentados de manera de evitar las compresiones exajeradas que pudieran producirse. Además, el diámetro del tubo de escape es sensiblemente más pequeño para la máquina Compound que para la máquina ordinaria. Esta disminución de sección (12%) compensa la reducción del número de golpes de escape dándole al chorro de vapor una velocidad de corrida y, por lo tanto, una potencia más grande.

La máquina Compound es del tipo á receptáculo intermediario colocado entre los cilindros, pero las distribuciones de los dos cilindros han podido ser ligadas sin inconveniente por el empleo de una válvula reductora funcionando automáticamente y graduando la presión en el cilindro de baja presión de manera de asegurar tanto que sea posible la igualdad de las presiones totales en los pistones. Esta válvula puede, además, interceptar la comunicación de los dos cilindros entre ellos y permitir entonces la introducción directa del vapor viniendo de la caldera al gran cilindro para el funcionamiento ordinario.

El servicio al cual está destinada esta máquina es de los más pesados, tanto en razón de las curvas bastante pronunciadas y de las gradientes del trazado que de lo acercadas que se encuentran las estaciones (18 para 8 kilómetros). Esta última disposición, que necesita la máquina ser puesta en velocidad rápidamente, tiene naturalmente por corolario el empleo de frenos muy poderosos para producir la parada.

Los trenes que debe remolcar esta máquina comportan generalmente dos grandes coches al medio del día, pero tienen cuatro á ciertas horas de la mañana ó de la tarde.

Los diagramas que se sacaron fueron tomados en condiciones ordinarias de marcha con distintas admisiones.

Se notó que para las admisiones inferiores á 50%, la pérdida, en relación á los diagramas teóricos, es relativamente pequeña

la expansión en el pequeño cilindro, siendo suficiente para que la curva de expansión siga de muy de cerca la hipérbola teórica.

Mas allá de esta admisión, la pérdida va aumentando rápidamente á causa de la insuficiencia de expansión en el cilindro de alta presión que produce, sin embargo, un trabajo en razón de la presencia de la válvula reductora bajando la contra-presión.

La máquina no puede, pues, funcionar económicamente que para las admisiones inferiores á 50%. Es por lo demás permitido de suponer que la admisión no debe sobrepasar este tanto en servicio corriente, según las cargas por remolcar y las dimensiones de los cilindros. Si fuese de otro modo, habría ventaja de aumentar el diámetro del cilindro de alta presión de modo de obtener expansión.

Según las curvas trazadas por el indicador, es preciso cerca de 8 vueltas de ruedas para que el vapor contenido en los espacios muertos sea completamente evacuado.

Es evidente que eso es una pequeña desventaja de la máquina Compound, pero no tiene inconveniente serio y está seguramente compensado por la facultad que tiene la máquina de marchar en sistema simple ó en Compound.

En el cuadro siguiente indicamos las condiciones principales de marcha correspondiente á los diagramas obtenidos:

Numero de los diagramas	Presion de la caldera Kgs.	Numero de revoluciones	PRESION MEDIA		Trabajo total en caballos vapor Caballos	GRADO DE ADMISION	
			Cilindro A P Kgs.	Cilindro B P Kgs.		Cilindro A P %	Cilindro B P %
1	11,450	258	2,168	1,050	142,1	39	36,5
2	10,897	324	2,366	1,227	211	46	44,5
3	10,334	330	2,957	1,448	259,92	54,5	51
4	10,440	306	3,495	1,569	271,80	64	62
5	10,476	270	4,641	1,933	306,47	72	70
6	10,265	210	5,500	2,243	279,82	78	76,5
7	11,319	270	5,136	2,096	345,30	82,5	81
8	10,195	180	6,306	2,163	239,36	86	85
9	9,000	120	5,560	1,744	140,72	46	44,5
10	9,800	150	7,094	2,136	215,83	64	62

El resultado de numerosos diagramas hace resaltar la igualdad casi completa de los trabajos desarrollados de los dos lados de la máquina, pero muestran al mismo tiempo que, si se compara las cantidades de agua acusadas en los cilindros al fin de la admisión y al fin de la expansión, hay tan luego condensación, tan luego evaporación en el cilindro A P para las admisiones, variando de 45 á 64%, mientras que hay casi siempre condensación para admisiones superiores.

Para el cilindro B P, la reevaporación es de mucho más frecuente, y si hay algunas veces condensación es para las grandes admisiones superiores á 80%.

La velocidad no parece tener una influencia muy precisa sobre estas condensaciones y estas evaporaciones, en cuanto que sus variaciones son á menudo en sentido inverso de las de la velocidad.

Los mismos diagramas muestran que el consumo de agua no varía sino muy poca cosa cuando la velocidad aumenta, puesto que para una misma admisión de 45% y para velocidades variando de 24%, este consumo no ha aumentado sino de 6%.

Además, los resultados en servicio, deducidos de una observación de 14 horas, han mostrado que la máquina Compound consume alrededor de 24% menos agua que la máquina ordinaria.

El cuadro A da un resumen de los resultados de las observaciones bajo el punto de vista del consumo de combustible y agua. Resulta de él que para un trayecto de 558 kilómetros la máquina ordinaria ha consumido 1,768 kilogramos de combustible y 11.766 kilogramos de agua, sea un consumo kilométrico de 3.17 kgs. de combustible y 21.10 kgs. de agua, mientras que para el mismo trayecto la máquina Compound no gastaba mas que 1.102 kgs. de combustible y 9,019 kgs. de agua, sea por kilómetro 1.97 kgs. de combustible y 16.17 kgs. de agua, es decir 37.85% de menos para el combustible y 23.36 para el agua.

Estas dos últimas relaciones indican que hay mejor utilización del combustible en la máquina Compound, puesto que la cantidad de agua evaporada por kilogramo de carbón, llega á 8 kgs. 182, mientras que no es sino de 6 kgs. 654 en la máquina ordinaria, sea 18.6% de economía.

Fuera de esta reducción del consumo, es preciso todavía tener cuenta que, en un servicio un poco cerrado, como lo es el del Metropolitano de Nueva York, hay un verdadero interés de que la máquina sea inmovilizada el menos tiempo posible para tomar sus aprovisionamientos, y que, además, esta reducción del consumo, corresponde á una reducción sensible de los gastos de manutención.

Se ha hecho también la comparación de los momentos de rotación de la máquina ordinaria y de la máquina Compound en las mismas condiciones de presión, de velocidad y de admisión por medio de diagramas.

Y de los cuales se deduce que la resultante de los momentos para las dos manivêlas es muy sensiblemente menos variable en el caso de la máquina Compound.

En cuanto á los esfuerzos que se ejercen sobre cada uno de los botones, se constata que son un poco más constantes y menos elevados para la máquina Compound.

CUADRO A.—RESULTADOS GENERALES DE LAS EXPERIENCIAS

Numero de coches remolcad.	Camino recorrido por las maquinas	TIEMPO DE MARCHA		CANTIDAD DE CARBON QUEMADO		CANTIDAD DE AGUA EVAPORADA	
		Maquina ordinaria	Maquina Compound	Maquina ordinaria	Maquina Compound	Ma. ordinaria agua a 14° 4	Ma. Compound agua a 8° 5
	Kilómetros	Minutos	Minutos	Kilogramos	Kilogramos	Kilogramos	Kilogramos
4	38,623	35	30	539,70	655,44	254,01	213,63
4	32,186	24	26	456,20	»	»	»
4	32,186	25	26	»	»	1388,90	868,17
4	32,186	22 1/2	25	»	»	»	»
4	32,186	23	25	»	»	1243,75	894,93
3	24,139	22	24	»	»	»	»
2	16,093	22	24	»	»	1010,14	787,88
2	16,093	23 1/2	23 1/2	»	226,79	»	»
2	16,093	23 1/2	23 1/2	»	»	821,44	647,73
2	16,093	22 1/2	23	»	»	»	»
2	16,093	24	24	»	»	767,93	587,84
2	16,093	23 1/2	24	»	»	»	»
2	16,093	24	23 1/2	226,79	»	824,62	647,73
2	16,093	24	24 1/2	»	»	»	»
2	16,093	23 1/2	24	»	»	801,50	681,29
2	16,093	23	24	»	226,79	»	»
2	16,093	24	23 1/2	226,79	»	858,21	681,29
2	16,093	23 1/2	24	»	»	»	»
3	24,139	26 1/2	25	226,79	»	938,47	721,21
4	32,186	25	26	»	»	»	»
4	32,186	24	23	61,50	Carbon pesado a la vuelta. Reducir 6 kg. 800	1275,44	881,75
4	32,186	29	34	»	»	»	»
3	24,139	23 1/2	23	30,84	»	1255,54	861,36
4	38,623	36 1/2	29	»	»	327	544,33
Totls.	558,081			Kilogramos	Kilogramos		
Consumo kilométrico.....				1768,61	1102,22	11766,05	9019,14
				3,17	1,97	21,10	16,17
Consumo % en menos para la máquina Compound.....				37,85%		23,36%	
Agua evaporada por kg. de carbón. Máquina Compound 8 kgs. 182. Máquina ordinaria 6 kgs. 654.							

En resumen, los resultados de la comparación de las dos máquinas pueden, según estas experiencias, expresarse de la manera siguiente:

Economía de combustible en favor de la máquina Compound (en un día).....	37.85%
Consumo kilométrico de la máquina ordinaria....	3.17 kgs.
Id id id Compound...	1.97
Economía de agua en favor de la máquina Compound (en 1 día).....	23.36%
Id id id id con 2 coches....	20.9%
Id id id id con 3 ó 4 coches	26.1%
Peso de agua á 14 ^o ,5 evaporada á la presión de 9 kgs. 840 por kilogramo de combustible, máquina ordinaria.....	6.7 kg.s
Peso de agua á 14 ^o .5 evaporada á la presión de 10 kgs. 890 por kilogramo de combustible, máquina Compound.....	8.25
Consumo de agua por coche-kilométrico, para 1 coche, máquina ordinaria.....	22.
Consumo de agua por coche-kilométrico, para 1 coche, máquina Compound.....	15.8
Consumo de agua por coche-kilométrico, para 2 coches, máquina ordinaria.....	25.25
Consumo de agua por coche-kilométrico, para 2 coches, máquina Compound.....	20.5
Consumo de agua por coche-kilométrico, para 3 ó 4 coches, máquina ordinaria.....	18.3
Consumo de agua por coche-kilométrico, para 3 ó 4 coches, máquina Compound.....	13.8

A estas ventajas se agrega todavía la suavidad de la marcha muy apreciable en estas máquinas, y que, en el caso considerado, interesaba todo el tren en virtud de su pequeño largo.

Además, las manivelas y las otras partes del mecanismo, estando sometidas á variaciones de esfuerzos mucho menos considerables, su fractura será mucho menos rápida.

En fin, la máquina Compound tiene, á lo que parece, dada una economía de engrasamiento cuyo valor no está, sin embargo, indicado, pero que se explica en parte por el pasaje en el cilindro grande del vapor graso salido del pequeño.

En el caso especial notado por los constructores de Rhode-Island, la marcha menos ruidosa de la máquina Compound así mismo que la disminución de la escoria y de las chispas presentaban un interés muy particular, también han sido muy apreciadas.

ENRIQUE LABATUT,

Ingeniero civil y mecánico.

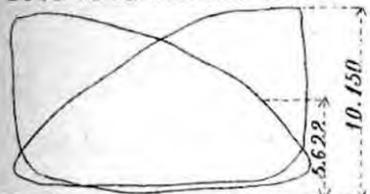
DIAGRAMAS DEL INDICADOR

MAQUINA SIMPLE

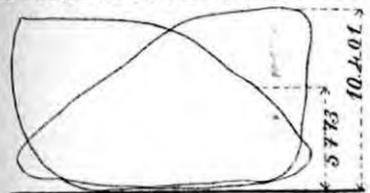
Moderador abierto entero. 54 revol por minuto
Presion de la caldera 11^K 033



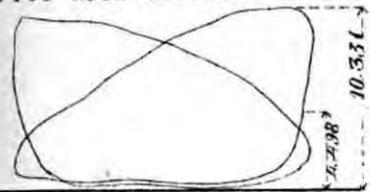
Moderador medio abierto 72 revol por m
Pres de la caldera 11^K 315



Moderador abierto a los 3/4 90 revol por m
Presion de la caldera 11^K 279

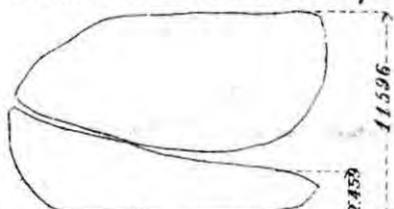


Moderador medio abierto 96 revol por m
Pres de la caldera 11^K 279

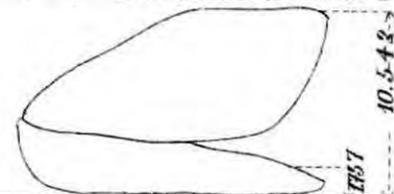


MAQUINA COMPOUND

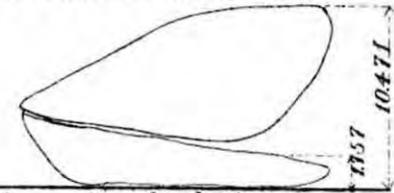
Moderador abierto entero. 84 revol por minuto



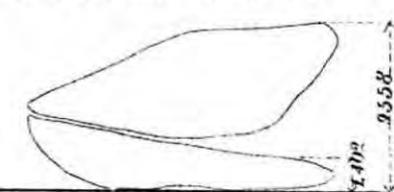
Moderador abierto entero 100 revol por m
Presion de la caldera 11^K 174



Moderador medio abierto 108 revol por m
Presion de la caldera 11^K 279

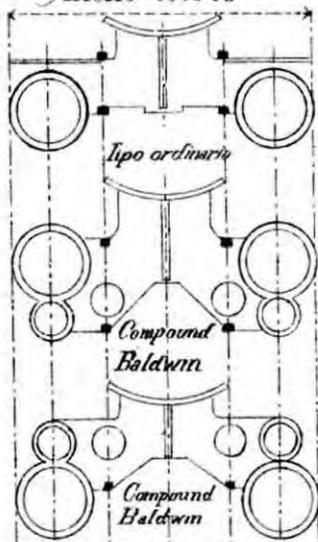


Moderador medio abierto 120 rev por m
Presion de la caldera 11^K 279



Diagramas mostrando el espacio ocupado por los Cilindros de los distintos tipos de Compound

Ancho 2.819



Ancho 2819

