LA PROPULSION A VAPOR
EN LA ARMADA DE CHILE

Federico Thomas Cavieres
Capitán de Fragata (R)

Reseña histórica

El primer registro que podemos encontrar de un intento para propulsar una embarcación, mediante el vapor, se encuentra en la correspondencia entre Papin y Leibnitz, y se refiere a una prueba efectuada en una embarcación propulsada por una máquina de Savery, en 1698 (figura N° 1). Esta máquina elevaba una cantidad de agua suficiente para hacer trabajar una rueda hidráulica, la que a su vez movía las ruedas de paletas.

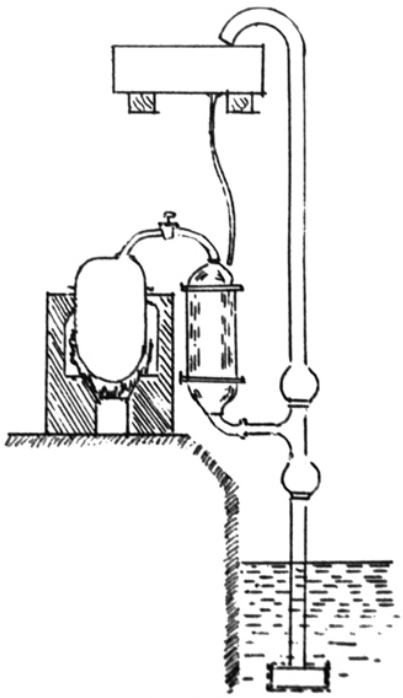

Figura N° 1
MAQUINA DE SAVERY

En 1707, Papin, quien fue profesor de matemáticas en Maburg, tenía un buque equipado con una máquina de su propiedad, donde empleaba el mismo sistema, a saber una bomba forzaba el agua para hacer girar una rueda hidráulica unida a las ruedas propulsoras de paletas. Sin embargo, este buque fue destruido por una turba de boteros, antes de ser puesto en servicio regular, ya que creían que arruinaría su negocio; el mismo Papin logró escapar con vida a duras penas, para ir a refugiarse a Inglaterra.

En 1736, Jonathan Hulls obtuvo una patente inglesa para un remolcador a vapor, en el cual las ruedas de paletas iban a ser movidas por una máquina de Newcomen, mediante un sistema de poleas (figura N° 2). Las ruedas de paletas iban colocadas a popa del remolcador.

En 1783, el marqués de Jouffroy, quien fue uno de los primeros “sauvants" en Francia, en reconocer las mejoras de Watt, después de varios intentos fallidos logró tener una embarcación de 150 pies de eslora y 16 pies de manga dotada con una máquina a vapor horizontal y ruedas de paletas de 14 pies de diámetro y seis pies de ancho, la que probó con éxito en Lyon; pero debido a carencia de fondos y a falta de apoyo del gobierno francés, no lo pudo poner en uso regular.

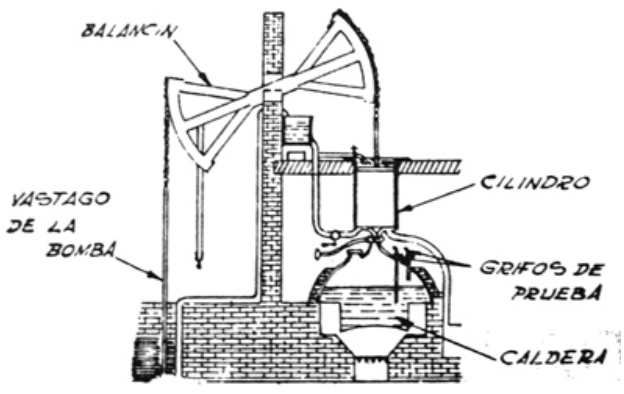

Figura N° 2
MAQUINA DE NEWCOMEN

En septiembre de 1785, John Fitch presentó a la American Philosophical Society, de Filadelfia, un propulsor de su invención constituido por cadenas horizontales para accionar palas verticales.

En 1786, asociado con el relojero holandés Voight, construyó un vapor accionado por una serie de remos de movimientos alternativos, que el 27 de Julio del citado año funcionó en el río Delaware.

El año 1787, el mismo Fitch construyó y probó una embarcación en Filadelfia, la que era propulsada por ruedas de paletas laterales movidas por una máquina a vapor, con la que obtuvo una velocidad de 3 a 4 nudos.

En 1788, Miller, Taylor y Symington, en Dalswinton, Dumfriesshire, Escocia, construyeron una pequeña embarcación de 25 pies de eslora y 7 pies de manga, equipada con una máquina a vapor de dos cilindros de 4 pulgadas de diámetro, con la que obtuvieron una velocidad de 5 nudos (ver figura N° 3).

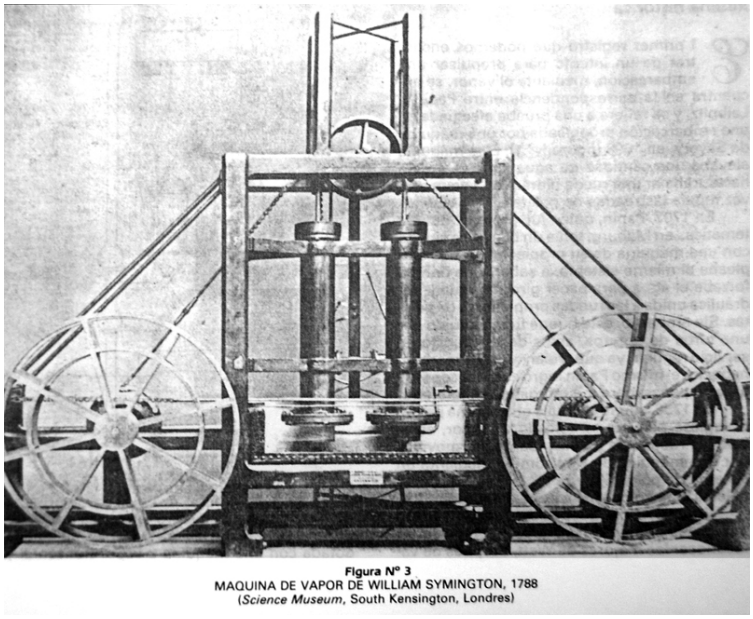

Figura Nº 3
MAQUINA DE VAPOR DE WILLIAM SYMINGTON, 1788
(*Science Museum*, South Kensington, Londres)

En 1796, John Fitch experimentó en Nueva York con una embarcación a vapor propulsada a hélice, constituyendo ésta la primera prueba de una hélice propulsora, a pesar de que Daniel Bernouilli había inventado en 1752 una hélice propulsora, la que se proponía mover por una máquina a vapor.

Todos estos primeros intentos, realizados en el siglo XVIII y hasta principios del siglo XIX, fallaron principalmente debido a la imperfección de los medios empleados para trasmitir el movimiento del pistón al propulsor. No fue sino hasta que la máquina rotatoria de Watt, mejorada, logró transformar el movimiento rectilíneo alternativo del émbolo en circular continuo, lo que se consiguió mediante la adopción de la cigüeña, haciendo posible que el poder de la máquina fuera transmitido suavemente y sin choque al propulsor, que pudo darse un paso significativo en el progreso de la navegación a vapor.

La máquina a vapor marina puede ser considerada justamente como un producto del siglo XIX, ya que de los numerosos intentos que se hicieron en la segunda mitad del siglo XVIII ninguno fue completamente satisfactorio en adaptar la máquina a vapor a la propulsión de buques.

En 1801, William Symington, alentado por su previo éxito parcial obtenido en la embarcación que construyera con Miller, y conociendo las mejoras de Watt, construyó una pequeña embarcación a máquina para Lord Dundas, llamada *Charlotte Dundas*, la cual actuó como remolcador en 1801, en el río Forth y en el canal Clyde, con pleno éxito, y solamente fue retirada del servicio a consecuencia del temor de que los barcos del canal pudieran sufrir con la acción de lavado del propulsor. La figura 4 muestra un modelo del *Charlotte Dundas*, en el cual puede apreciarse la disposición del aparato motriz.

Esta embarcación fue equipada con una rueda de paletas sencilla, colocada cerca de la popa, movida por una máquina horizontal de acción directa, con biela y cigüeña. Bajo el cilindro tenia un condensador y una bomba de aire, mientras la caldera estaba instalada

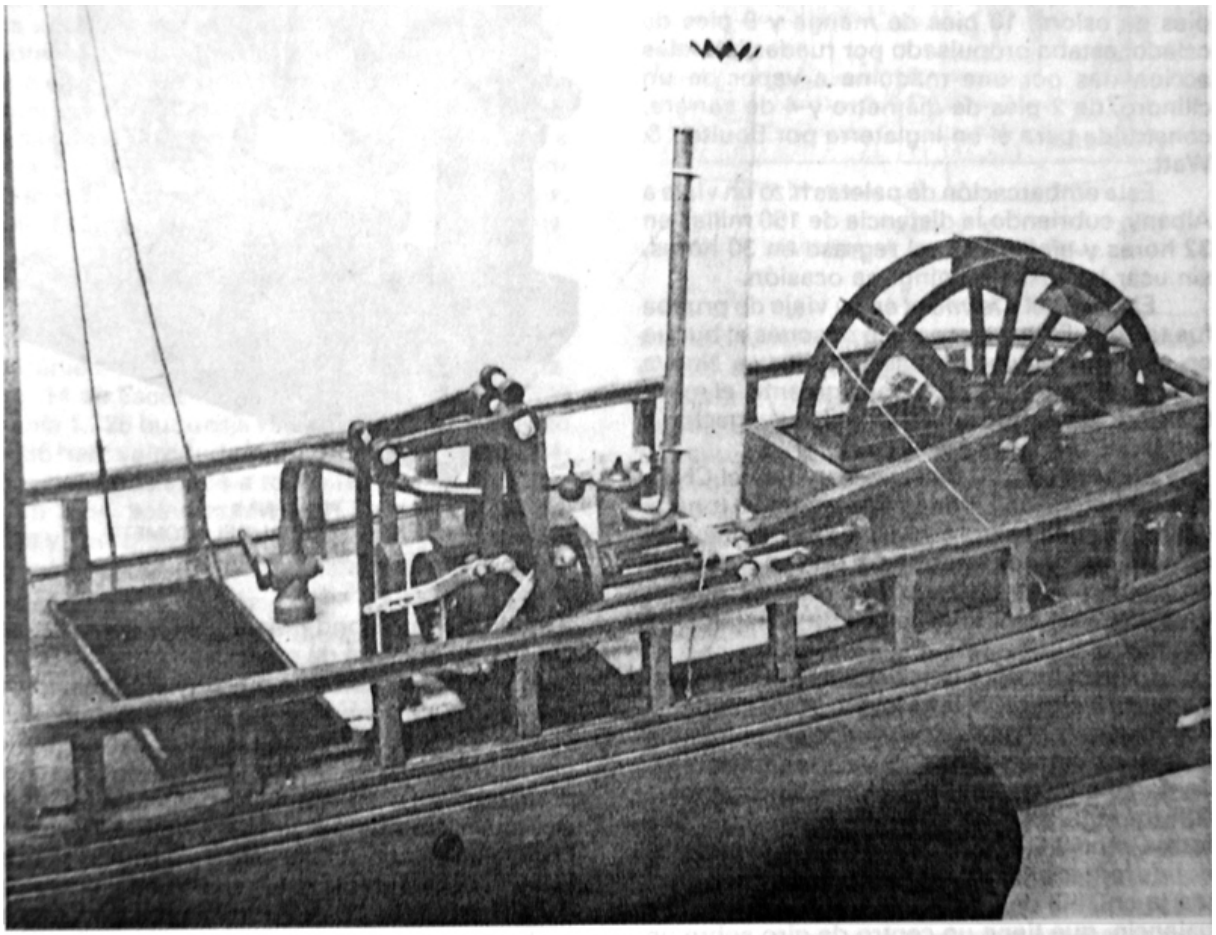

Figura Nº 4
MODELO DEL "CHARLOTTE DUNDAS", 1801
(*Science Museum*, South Kensington, Londres)

sobre cubierta. En conjunto, la disposición resultó la más confiable lograda hasta esa fecha, y en general considerada buena, lo que hizo de este remolcador la "primera embarcación a vapor práctica".

Sin embargo, el primer ejemplo registrado de navegación a vapor que probó ser comercialmente exitoso fue logrado en América en el año 1807, con el buque a vapor *Clermont* construido por Robert Fulton. Este buque, de 133 pies de eslora, 18 pies de manga y 9 pies de calado, estaba propulsado por ruedas laterales accionadas por una máquina a vapor de un cilindro, de 2 pies de diámetro y 4 de carrera, construida para él en Inglaterra por Boulton & Watt.

Esta embarcación de paletas hizo un viaje a Albany, cubriendo la distancia de 150 millas en 32 horas y efectuando el regreso en 30 horas, sin usar las velas en ninguna ocasión.

El éxito del *Clermont* en su viaje de prueba fue tal, que Fulton puso poco después al buque en servicio regular de pasajeros entre Nueva York y Albany; tiene, por consiguiente, el mérito de ser el primero en hacer de la navegación a vapor un éxito comercial diario.

En 1812, Henry Bell construyó en el Clyde una embarcación llamada *Comet*, de 30 toneladas, 40 pies de eslora y 10,5 pies de manga, que navegó por varios años como un vapor regular de pasajeros entre Glasgow y Greenock, constituyéndose en el primer vapor de pasajeros de Europa.

Esta máquina, cuyos detalles pueden apreciarse en la figura N° 5, es lo que podría haberse usado en la fecha de su construcción, como una pequeña máquina terrestre, ya que está equipada no solamente con un volante sino también con un regulador de péndulo de

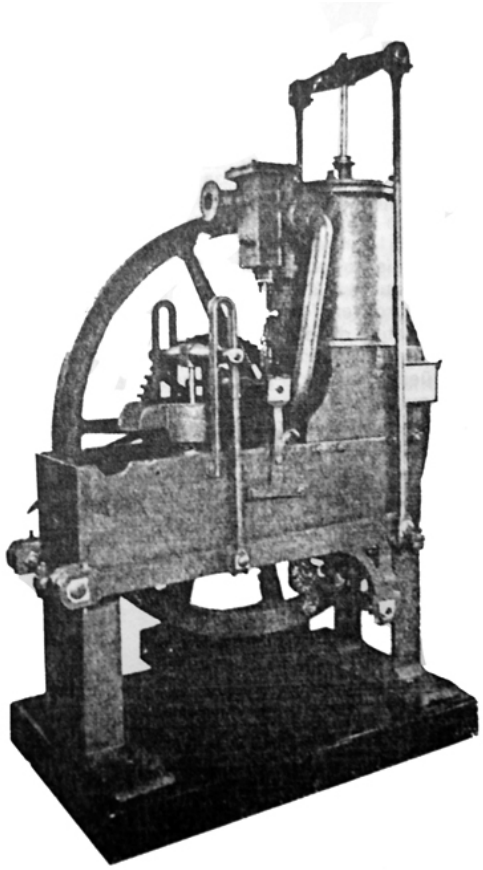

Figura N° 5
MAQUINA ORIGINAL DEL "COMET"
(*Science Museum*, de Londres)

Watt. Es una forma sencilla de máquina de balancín lateral, donde largas bielas de retorno, o barras, conectan la cruceta del vástago con un extremo del balancín, que tiene un centro de giro sobre un eje en el otro extremo.

Con varios agregados y mejoras importantes, tales como condensadores de superficie a chorro, dispositivo de expansión variable regulado a mano, embrague de pie y dispositivo de cambio de marcha movido a mano, omitiendo el volante y el regulador, este tipo de máquina, llamada de Grasshopper, se encontró hasta el comienzo del presente siglo, haciendo un buen trabajo en varios remolcadores en el Támesis, Clyde, Forth y otros lugares. De ella se dice que tiene varias ventajas, tales como: bajo costo de construcción; larga carrera del émbolo, aun en embarcaciones para aguas poco profundas, donde el cilindro es colocado cerca de la quilla en vez de sobre una plataforma elevada, como en la máquina del *Comet*; menos posibilidad de pegarse en los puntos muertos, que la mayoría de otros tipos de máquinas de un cilindro (debido a la posición ocupada por el eje cigüeñal, la biela era colocada entre las barras laterales del cilindro y centro de giro del balancín lateral); y también al hecho que trabajaría requiriendo menor atención y cuidado que otros tipos de máquinas con ajustes más finos. El cilindro del *Comet* se preserva como una interesante reliquia en el Corporation Kelvingrove Museum de Glasgow.

Desde esa fecha se puede decir que el éxito de la navegación a vapor estaba asegurado, y el avance que se había hecho desde entonces no consistía tanto en el descubrimiento de nuevos principios, sino en la extensión de los antiguos y en la introducción y desarrollo de mecanismos y mano de obra mejorada, con la consecuente economía de combustible. El resultado ha sido un progresivo aumento en el tamaño, potencia y velocidad de los buques a vapor y en la extensión de sus viajes, de modo que a comienzos de siglo había buques de 19.500 toneladas de desplazamiento, capaces de navegar a una velocidad de 22 nudos, propulsados por máquinas que desarrollaban más de 30.000 IHP, mientras que había otros aun mayores en construcción.

Bell construyó pronto varios otros vapores. En 1814 había 5 vapores en Gran Bretaña (todos escoceses) en trabajo regular en aguas británicas; en 1820 había 34, la mitad de Inglaterra, 14 de Escocia y el resto de Irlanda. En 1840 había 1.325 buques a vapor en Gran Bretaña, en 1886 había alrededor de 7.750 vapores registrados pertenecientes a todas las nacionalidades, y en 1884 solamente en el Clyde fueron lanzados y completados alrededor de 3.000 vapores que hacían unas 290.000 toneladas gruesas.

Máquina de balancín lateral

El propulsor usado en los primeros buques a vapor fue invariablemente la rueda de paletas, y el tipo de máquina existente, que daba buenos resultados en tierra, fue adaptado

al principio para hacer girar las ruedas de paletas. Esta máquina, llamada de balancín lateral, fue muy perfeccionada por los señores Napier, de Glasgow, e instalada en varios de sus más famosos vapores de pasajeros transoceánicos anteriores a 1850.

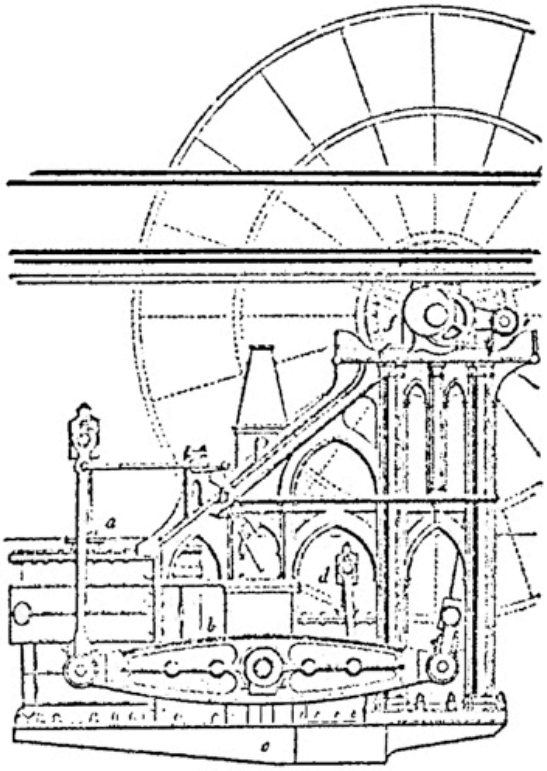

Figura N° 6
MAQUINA DE BALANCIN LATERAL

Cada máquina tiene un par de balancines laterales (b) fijados a un eje central, pero al extremo opuesto del cilindro de vapor (a) el vástago del cilindro lleva una cruceta en forma de una gran "T", de la cual están suspendidas unas barras laterales que se conectan por su otro extremo con el extremo de popa de los balancines laterales. El extremo de proa de estos balancines laterales era conectado a una sola biela en forma de "T" invertida, cuyo extremo superior se conectaba a su vez al alfiler cigüeñal (e). La bomba de aire era también accionada por los balancines laterales principales, como se muestra en (d), mientras el condensador de chorro estaba situado entre ella y el cilindro. En (f) puede verse la excéntrica con su contrapeso, y la rueda de paletas en (h). Toda la maquinaria descansaba sobre una pesada base de fierro fundido (c). Tales máquinas raramente usaban vapor sobre 20 libras por pulgada cuadrada de presión y giraban a alrededor de 18 revoluciones por minuto, con una velocidad del pistón de no más de 200 pies por minuto. Tenían un consumo de carbón que raramente era menor de 7 libras por IHP hora, mientras que en las máquinas a vapor desarrolladas posteriormente, que trabajaban con presiones de 150 libras por pulgada cuadrada y una velocidad del pistón de 600 pies por minuto, el consumo de carbón era de menos de 2 libras por IHP hora, como cosa común.

Las máquinas de balancín lateral eran muy pesadas, ocupaban gran espacio y a menudo era dificultoso hacerlas partir, requiriendo en las embarcaciones más grandes de dos o más hombres en el volante de partida, ya que en aquel entonces no existían mecanismos hidráulicos para ponerlas en funcionamiento, ni válvulas de deslizamiento balanceadas, y solamente se usaba una excéntrica, de modo que las válvulas de distribución tenían que ser accionadas a mano hasta que se obtenía una velocidad suficiente para mantenerlas en posición para navegar, ya sea dando avante o atrás.

Máquina de balancín americana

La figura N° 7 muestra a la máquina de balancín americana, la cual fue usada hasta comienzo de este siglo, con ligeras mejoras a la original construida primeramente por Stevens, entre las cuales se incluye la substitución de la primitiva estructura de madera por otra de fierro y acero, y el uso de mayores presiones de vapor, las que llegaron hasta las 60 libras por pulgada cuadrada.

Este tipo de máquina, que era peculiar de los vapores de río americanos, debe sus características de diseño principalmente a Robert L. Stevens, rival de Robert Fulton en

construcción naval e ingeniería marina. El "esqueleto o balancín oscilante" fue diseñado primero por Robert Stevens en 1822, para el *Hoboken*, construyendo en 1827 el *North America*, que resultó ser uno de los más grandes y exitosos vapores de río de esos tiempos que logró obtener la entonces extraordinaria velocidad de 15 a 16 nudos. Este buque tenía un par de máquinas con cilindros sencillos, cada uno de 44,5 pulgadas de diámetro y 8 pies de carrera, que hacían girar a la máquina a 24 revoluciones por minuto.

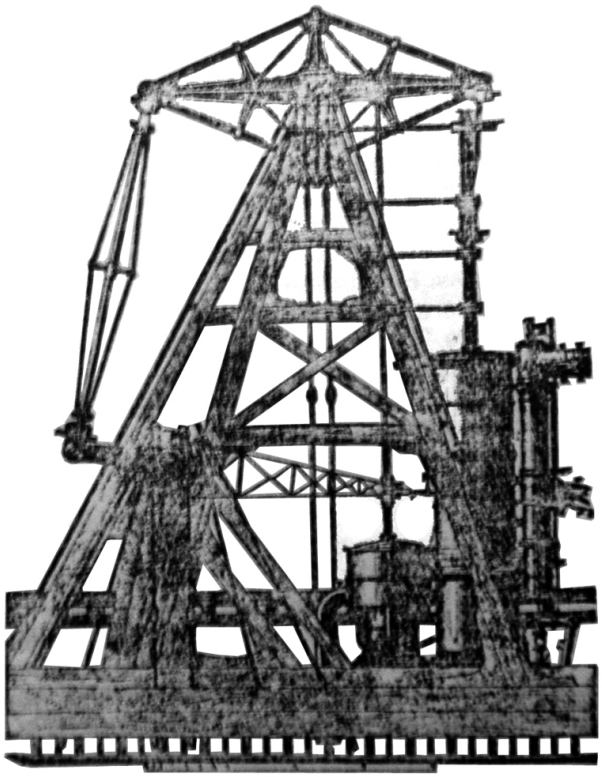

Figura N° 7
MAQUINA DE BALANCIN AMERICANA

Máquina de Grasshopper

La disposición de los balancines laterales fue variada a veces, haciéndolos trabajar como palancas de tercera clase, colocando el alfiler central o centro de giro en un extremo y poniendo al cilindro de vapor entre el centro de giro y la biela. Estas máquinas fueron conocidas comúnmente como máquina de Grasshopper (figura N° 8).

La máquina de balancín lateral, aunque muy pesada y voluminosa para el poder desarrollado, era segura y confiable, asegurando una cierta longitud de biela y teniendo sus partes móviles prácticamente en equilibrio. Consecuentemente, continuó en uso general por un gran número de años, pero al final fue desplazada por la máquina de acción directa, la cual era más liviana y compacta.

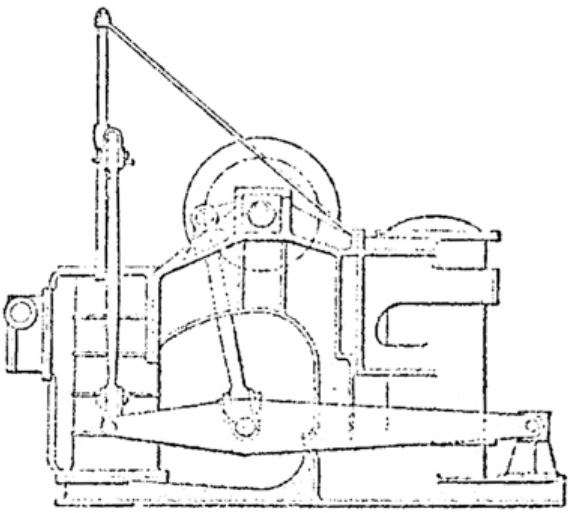

Figura N° 8
MAQUINA DE GRASSHOPPER

Uso del vapor en los buques de guerra

El uso del vapor fue introducido en la Armada Real Británica en el año 1820, en el *Monkey*, un buque de 210 toneladas construido en Rotherhithe y equipado por los señores Boulton & Watt con máquinas de 80 IHP. Estas tenían dos cilindros de 35,5 pulgadas de diámetro y 3 pies 6 pulgadas de carrera, trabajando a 26,5 revoluciones por minuto con una velocidad del pistón de 185 pies por minuto. Este buque fue seguido en 1822 por el *Active*, de 80 HP nominales, construido por la misma firma, en 1823 por el *Lightning*, de 100 HP, construido por los señores Maudslay, y algunos otros buques cuyos nombres aparecen por primera vez en la Lista Naval Oficial de marzo de 1828.

Estos primeros buques a vapor fueron usados principalmente para remolque y servicios generales y difícilmente podían ser catalogados como buques de guerra. Entre esa

fecha y 1840 se agregaron a la armada otros 70 buques a vapor, la mayoría de ellos equipados con calderas de tubos de fuego y máquinas lentas del tipo de balancín lateral, que trabajaban con una presión de vapor de 4 libras por pulgada cuadrada sobre la presión atmosférica.

Uno de estos buques, el *Rhadamanthus*, fue equipado con máquinas de balancín lateral y calderas de flujo, por los señores Maudslay, Sons & Field, en 1832. El poder nominal era de 200 HP, pero las máquinas eran capaces de desarrollar hasta 400 IHP, o 1,8 veces el poder nominal. La carga de sus válvulas de seguridad era de 4 libras por pulgada cuadrada, y el número de revoluciones por minuto, cuando se trabajaba a todo poder, era 17,5, dando una velocidad media del pistón de 175 pies por minuto. El peso total de la maquinaria era de 275 toneladas, o 13,75 cwt por IHP desarrollado.

Entre 1840 y 1850 fueron introducidas las calderas tubulares, que resultaron más livianas y más compactas, y las presiones de trabajo del vapor pudieron ser aumentadas de 10 a 15 libras por pulgada cuadrada, sobre la atmosférica.

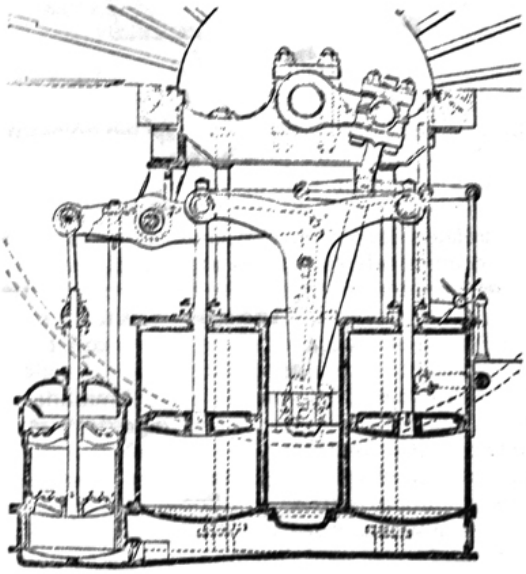

Figura N° 9
VISTA EN CORTE DE UNA MAQUINA
DE CILINDROS DOBLES

Abandono de las máquinas de balancín lateral

Pronto se hicieron intentos para reducir el espacio requerido por la maquinaria, siendo abandonados los balancines laterales e instalándose en su reemplazo máquinas de acción directa para hacer girar las ruedas de paletas. Se instalaron varios dispositivos de este tipo, siendo los dos más conocidos: la máquina de cilindro doble de los señores Maudslay y la máquina de cilindros oscilantes de los señores Penn. La figura N° 9 muestra la máquina de cilindros dobles, la cual consistía de dos cilindros iguales colocados uno al lado del otro, de modo que los vástagos de los correspondientes pistones estaban conectados a una sola cruceta.

Con el objeto de lograr una suficiente longitud de biela, la cruceta era de una forma peculiar y pasaba hacia abajo entre los cilindros teniendo un muñón en su extremo inferior, sobre el cual trabajaba un extremo de la biela, la que estaba conectada por su otro extremo al alfiler cigüeñal.

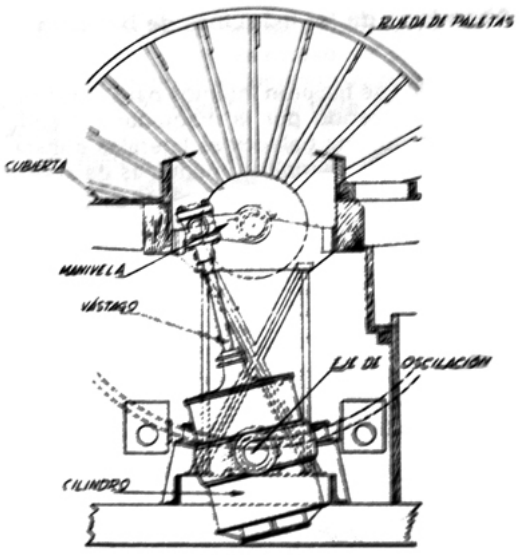

Figura Nº 10
VISTA EN CORTE DE UNA MAQUINA
DE CILINDROS OSCILANTES

La figura Nº 10 muestra la disposición general de la máquina de cilindros oscilantes, la cual es el tipo sencillo y compacto, para mover ruedas de paletas. Este tipo de máquinas usado para propósitos marinos por los señores Maudslay, Sons & Field, quienes en 1828 instalaron un par de ellas en el vapor *Endeavour*, y subsecuentemente en varios otros

buques, fue adaptado y perfeccionado por el más tarde eminente ingeniero señor John Penn, con cuyo nombre está ahora asociada. En estas máquinas ha sido eliminada la biela y la parte superior del vástago del pistón está provista de descansos que trabajan directamente en el alfiler cigüeñal, y el cilindro mismo está soportado por muñones que trabajan en descansos soportes que le permiten oscilar para conformarse al movimiento de la cigüeña. Los muñones son huecos y el vapor es admitido y descargado de los cilindros a través de ellos. En este tipo de máquina, el espacio y el peso han sido reducidos tanto como es posible, y desde que fueron introducidas para la propulsión marina, la mayoría de las máquinas usadas para accionar ruedas de paletas fueron de este tipo.

El *Magicienne* fue uno de los mejores ejemplos de buques de guerra a vapor de ese período, equipado con máquinas de cilindros oscilantes por los señores Penn en 1850. La presión del vapor en las calderas era de 14 libras por pulgada cuadrada, 20,5 revoluciones por minuto a todo poder, con una velocidad media del pistón de 287 pies por minuto, con un máximo de potencia de 1.300 IHP. El peso total de la maquinaria era de 275 toneladas, ó 4,23 cwt por IHP.

La rueda de paletas tenía varias desventajas prácticas, las cuales interferían con el progreso más allá de cierto punto. Su rendimiento era muy afectado con la variación de calado del buque durante un viaje; a medida que el carbón y las provisiones eran consumidas, y las cajas de ruedas ofrecían mayor resistencia al avance del buque, su rendimiento disminuía.

Para buques de guerra, las ruedas de paletas eran particularmente inapropiadas, ya que por sí mismas estaban muy expuestas a los proyectiles y granadas, y las cajas de las ruedas interferían seriamente con el campo de tiro y trabajo de los cañones; además, el eje de las ruedas y varias partes de las máquinas tenían que estar considerablemente sobre la línea de agua, muchas de ellas sobre la cubierta superior.

Además, la rueda de paletas resultó ser un propulsor que no se adapta bien a la aplicación de poderes elevados.

Adopción de la hélice como propulsor

La adopción de la hélice como propulsor, en vez de la rueda de paletas, fue el paso más importante dado en el progreso de la ingeniería marina, ya que esto hizo posible varios avances subsecuentes.

Sus principales ventajas, comparada con la rueda de paletas, son:

a) La hélice es comparativamente menos afectada por el balanceo, o por la variación de calado del buque durante el viaje.

b) Se puede aplicar igualmente, ya sea a pequeños o a grandes poderes;

c) No está expuesta a daños por los proyectiles; y

d) Permite que las máquinas puedan ser mantenidas bajo la línea de agua, lo cual es muy importante en los buques de guerra sin coraza.

Aún más, las máquinas con hélice, ya sea horizontales o verticales, pueden ser protegidas, si es necesario, manteniéndolas bajo la cubierta de acero acorazada, con rejillas acorazadas en las escotillas y otras aberturas, mientras que en los buques de guerra más grandes, tales como acorazados y grandes cruceros, su altura es tan moderada que puede dárseles protección eficiente mediante una coraza, aun cuando las máquinas sean verticales

y los cilindros estén sobre la línea de agua. Con máquina a hélice, las cubiertas también se mantienen claras de los cañones.

La substitución de la rueda de paletas por la hélice comenzó a generalizarse en el periodo 1845-1850. La hélice había sido inventada mucho tiempo antes, pero su utilidad práctica no había sido reconocida y estaba aun considerada como en una etapa experimental. Los primeros experimentos notables para comparar las eficiencias de las ruedas de paletas y los propulsores a hélice fueron hechos en 1840, cuando el *Arquímedes*, con un propulsor a hélice, batió al *Ariel*, un buque con ruedas de paletas, entre Dover y Calais, por cinco a seis minutos bajo vapor y vela. El *Arquímedes* batió posteriormente a los vapores con ruedas de paletas *Beaver* y *Swallow*; pero fue batido ligeramente por el *Widgeon*.

En 1843 el Almirantazgo británico realizó algunos experimentos importantes con el buque a hélice *Rattler* y el buque a ruedas *Alecto*, y en 1848 con el buque a hélice *Niger* y el buque a ruedas de paletas *Basilisk*. Los resultados en cada caso fueron en favor del propulsor a hélice, deduciéndose de estas pruebas muchas valiosas conclusiones.

Desde ese tiempo, el uso del propulsor a hélice fue haciéndose gradualmente más general, hasta que al presente es casi el único medio empleado por la propulsión marina.

Empleo de engranajes multiplicadores para las máquinas a hélice

Para obtener la misma velocidad del buque, la hélice debe girar a una velocidad mucho mayor que la rueda de paletas, y como en aquella época eso no era posible por la condición de la ingeniería mecánica, que no permitía que los pistones pudieran trabajar a una velocidad lo suficientemente alta para posibilitar que el eje de la máquina fuera conectado directamente al eje propulsor, las primeras máquinas usadas para trabajar con hélices propulsoras fueron provistas con engranajes multiplicadores, de modo que el eje de la hélice girara a una mayor velocidad que el eje de la máquina (ver figura N° 11).

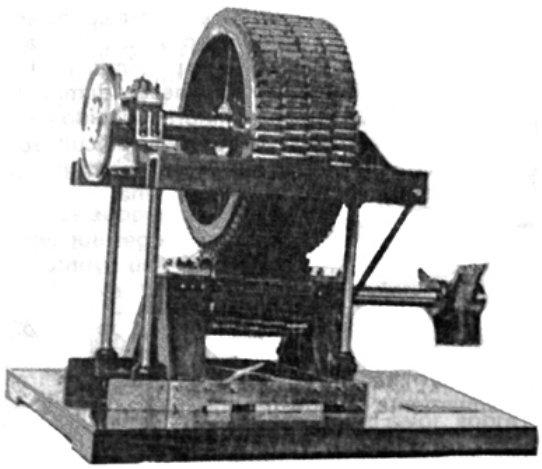

Figura N° 11
MODELO DE RUEDAS DENTADAS PARA AUMENTAR LA VELOCIDAD DE ROTACION DE LAS HELICES
(Foto *British Crown*)

Una gran rueda corona chaveteada al eje cigüeñal de la máquina trabajaba en una rueda dentada de menor diámetro chaveteada sobre el eje de la hélice, de modo que la velocidad de rotación del eje de la máquina pudiera ser multiplicada en el eje de la hélice, tanto como fuera necesario.

Sin embargo, en poco tiempo se efectuaron tales mejoras en la manufactura y detalles mecánicos, que las velocidades de los pistones y del eje cigüeñal de las máquinas pudieron ser aumentadas lo suficiente para permitir que estas fueran acopladas directamente al eje de la hélice.

Con esto, los engranajes fueron abandonados. Posteriormente, en máquinas más modernas se obtuvieron velocidades medias de los pistones de 800 a 950 pies por minuto, a máximo poder, mientras que para las máquinas rápidas de los torpederos y destructores, estos vapores se elevaron a 1.200 pies por minuto, llegando en algunos casos hasta 1.400 pies por minuto.

Máquinas horizontales

Las máquinas para accionar las ruedas de paletas eran, ya sea verticales o inclinadas, pero cuando se introdujo la hélice propulsora y llegó a ser posible colocar todo el aparato propulsor bajo la línea de agua, la máquina fue colocada horizontalmente, y desde ese tiempo, por cerca de treinta años, las máquinas de los buques de guerra fueron casi siempre del tipo horizontal.

Uno de los grandes obstáculos que entonces tuvo que ser superado para conectar el eje cigüeñal de la máquina horizontal directamente al eje de la hélice, fue la proximidad a la línea central del buque, en que necesariamente debían ser instalados los cilindros, debido a la limitación de la manga, lo que hacía dificultoso instalar una biela de longitud apropiada para trabajar entre el cilindro y la cigüeña.

Máquinas de tronco, o de Penn

El señor John Penn resolvió esta dificultad mediante la invención de la máquina de tronco. En esta máquina, fundido con él o apernado al pistón se instaló un vástago hueco, de diámetro relativamente grande, o tronco que atravesaba la tapa y el fondo del cilindro a través de prensas estopas herméticas al vapor. La biela iba acoplada directamente a un muñón o alfiler en el centro del pistón propiamente tal, como se muestra en la figura N° 12.

Aunque el uso de un gran tronco, a primera vista, no parece deseable, las máquinas de este tipo, con las cuales estaban provistos nuestros blindados *Cochrane* y *Blanco*, trabajaron de una manera satisfactoria y estuvieron entre las de funcionamiento más suave y eficiente de su época. Sin embargo, con la introducción del vapor de alta presión quedaron obsoletas debido a las dificultades para mantener los troncos sellados a prueba de vapor.

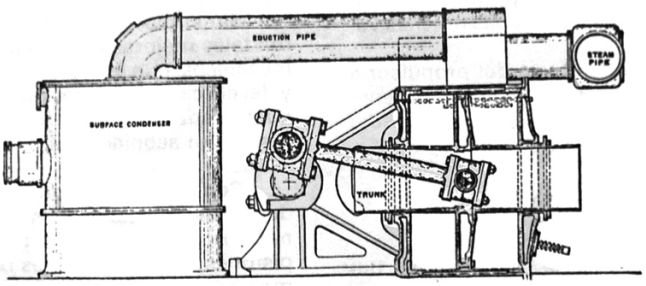

Figura N° 12
MAQUINA DE TRONCO

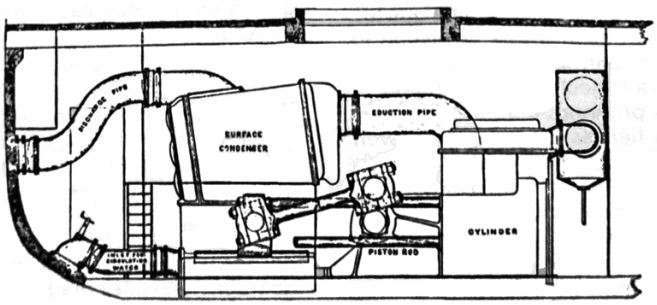

Figura N° 13
DISPOSICION DE UNA MAQUINA DE BIELA DE RETORNO

Máquinas de biela de retorno

Esta clase de máquina fue adoptada por la mayoría de las firmas de ingeniería marina, para posibilitar que los cilindros horizontales pudieran ser instalados cerca del eje cigüeñal, en la forma usual mostrada en la figura N° 13. En ellas, el pistón tenia dos vástagos, uno de los cuales pasaba sobre y el otro bajo el eje cigüeñal, y se conectaban a una cruceta situada al lado opuesto del cilindro a una distancia conveniente; de esta cruceta partía la biela a conectarse a la cigüeña.

Posteriormente, para evitar la desventaja de tener dos vástagos y dos prensas estopas para cada cilindro y simplificar el diseño del pistón, se usó un solo vástago con un pistón sencillo conectado a una cruceta entre el cilindro y el eje cigüeñal, desde la cual salían dos

barras que pasaban una por arriba y otra por abajo del eje cigüeñal y se conectaban a una cruceta, tal como en el sistema anterior.

Máquina de acción directa

La máquina de acción directa, mostrada en la figura N° 14, que tenía la biela entre el cilindro y la cigüeña, fue empleada a menudo, especialmente por los señores Humphreys, en las últimas máquinas horizontales, siendo sus partes tan compactas como era posible en el limitado espacio disponible, y usándose con una biela corta.

Es el tipo más sencillo y el más apropiado para trabajo general, y es usualmente adoptado cuando quiera que pueda obtenerse espacio suficiente para ello.

Este tipo de máquinas ha sido adoptado universalmente para máquinas verticales, con los cilindros en la parte superior, trabajando hacia abajo, sobre el eje cigüeñal.

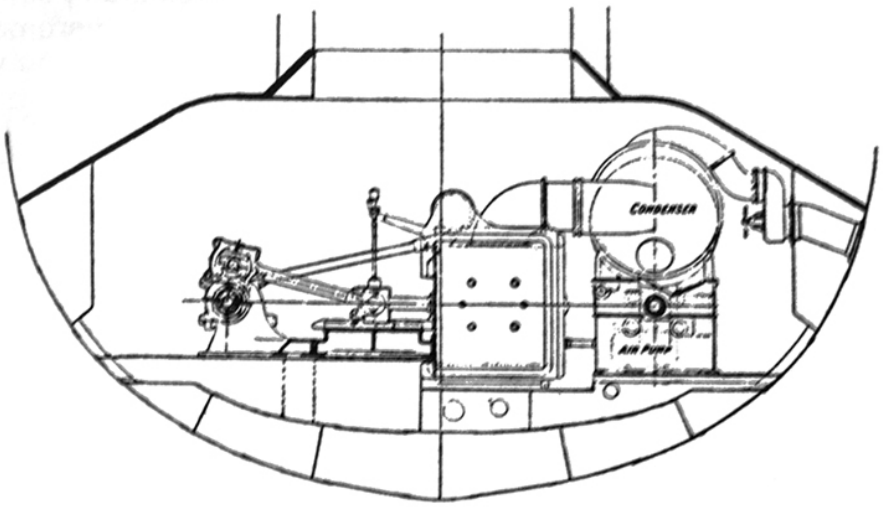

Figura N° 14
DISPOSICION DE UNA MAQUINA DE ACCION DIRECTA

Primeras máquinas para hélices propulsoras

La mayoría de los buques a vapor, tanto mercantes como de guerra, construidos durante la década 1850 a 1860, fueron equipados con hélices accionadas por máquinas horizontales que trabajaban con vapor de 20 a 25 libras por pulgada cuadrada de presión. Estas máquinas tenían condensadores de chorro, y aunque consumían bastante combustible eran mucho más livianas y ocupaban considerablemente menos espacio que las máquinas para accionar ruedas de paletas, que las precedieron.

La velocidad media del pistón en este tipo de máquina, era generalmente de cerca de 400 pies por minuto, y el peso de la maquinaria de alrededor de 3,34 cwt por IHP.

Condensación de superficie

La adopción de la condensación de superficie, que llegó a ser general alrededor de 1860, constituye uno de los pasos más importantes en el adelanto de la ingeniería marina. Su valor consiste no tanto en la economía obtenida al evitar las pérdidas derivadas del salado de las calderas, como por el hecho de que eliminando el factor de peligro resultante del depósito de materia sólida, no conductora del calor, sobre las superficies de

calentamiento, se hizo posible el uso de mayores presiones de vapor en las calderas marinas, lo que llevó eventualmente a la introducción de las calderas cilíndricas y de las máquinas compuestas. Cuando se introdujo por primera vez la condensación por superficie, aún se usaban las antiguas calderas de costados planos, hechas así para conformarse a los costados o sección del buque; pero fueron reforzadas colocándose estayes o tirantes adicionales para capacitarlas para generar vapor de 30 a 35 libras por pulgada cuadrada de presión, y la mayoría de los buques de guerra construidos durante los años 1860 a 1870 fueron dotados con máquinas que usaban condensación de superficie y trabajaban con dicha presión.

Las velocidades del pistón fueron también aumentadas considerablemente, especialmente en los buques más grandes, en los cuales pudo obtenerse una carrera larga. Con este tipo de máquina, las velocidades medias de los pistones variaban desde 500 a 665 pies por minuto. Para obtener economía de combustible, los cilindros eran generalmente provistos con chaquetas de vapor y hechos lo suficientemente grandes para permitir una considerable expansión del vapor a todo poder, siendo las calderas equipadas con sobrecalentadores.

El peso medio de la maquinaria de este tipo, incluyendo el agua en las calderas, era de alrededor de 3 cwt por IHP.

Máquinas compuestas de doble expansión

Después de la introducción del condensador de superficie, la atención fue dirigida al uso de mayores presiones de vapor, ya que consideraciones teóricas mostraban que así podría lograrse una considerable ganancia.

El resultado fue que la presión del vapor aumentó de 30 ó 35 libras por pulgada cuadrada, a 60, mientras que las calderas cilíndricas fueron equipadas para soportar en forma segura este incremento de presión y la máquina fue cambiada al tipo compuesto. Las máquinas compuestas, o compound, fueron instaladas en casi todos los buques de guerra desde 1870 a 1885. La figura N° 15 muestra una máquina de doble expansión, de 30 cv.

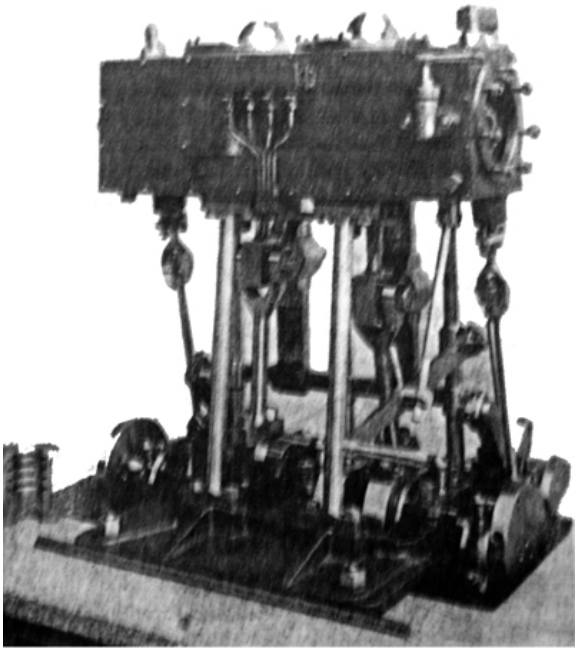

Figura N° 15
MAQUINA DE DOBLE EXPANSION, DE 30 CV
(Foto *British Crown*)

Este tipo de máquinas efectúa la expansión en dos estados. El vapor, después de ser admitido a un pequeño cilindro y expandido en él, es conducido a un cilindro más grande, donde se expande aún más, antes de ser descargado, de modo que los esfuerzos en la estructura y descansos son disminuidos y la pérdida por condensación del vapor en los cilindros reducida a un mínimo. La experiencia ha confirmado el siguiente resumen de sus ventajas:

1. Reducción de los máximos esfuerzos en la estructura, ejes y descansos, con la consecuente reducción de peso y costo

2. Aumento en la regularidad del momento de torque, con el consiguiente aumento de la eficiencia del propulsor en el agua; y

3. Uso más económico del vapor en los cilindros y consecuente aumento de poder obtenido de una cantidad dada de calor.

La presión de trabajo del vapor en los buques de la Armada Real Británica, con este tipo de máquina, fue originalmente de 60 libras por pulgada cuadrada, la que ha ido aumentando gradualmente de tiempo en tiempo, siendo de 90 libras por pulgada cuadrada alrededor del año 1880 y de 120 en 1900.

Con la adopción de las máquinas compuestas y presiones de vapor más elevadas se produjo de inmediato una considerable economía de combustible. La ganancia en economía por el uso de máquinas compuestas con vapor de 60 libras por pulgada cuadrada de presión resultó de por lo menos un 30% sobre las máquinas ordinarias de condensación de superficie, que trabajaban con vapor de 30 libras por pulgada cuadrada de presión.

Esta ganancia fue bien comprobada, y los principales ingenieros y compañías de navegación a vapor respondieron al Comité del Almirantazgo Británico que su valor medio era de un 30 a 35%.

Máquinas verticales

El tipo de máquina vertical, con cilindros en la parte alta y el eje cigüeñal debajo de ellos, fue adoptada primero por los buques mercantes mucho tiempo antes que en la armada, debido a que en la mayoría de los buques de guerra era una necesidad imperiosa que toda la maquinaria debía ser mantenida bajo la línea de agua y sólo las máquinas horizontales satisfacían plenamente esta condición.

Las máquinas verticales poseen muchas ventajas prácticas sobre las máquinas horizontales, especialmente en conexión con el trabajo de cilindros y pistones y general accesibilidad de la máquina. Por consiguiente, cuando se adoptó el sistema de dos hélices para buques acorazados se instalaron máquinas verticales separadas por un mamparo estanco en la línea de crujía.

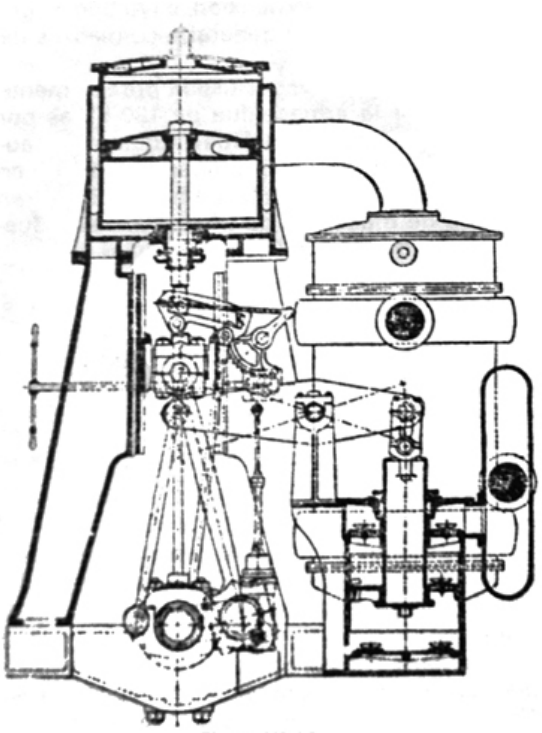

Figura Nº 16
VISTA EN CORTE TRANSVERSAL DE UNA MAQUINA VERTICAL DE DOS CILINDROS

Al dividir la potencia en dos partes, cada juego de máquinas, aun en los buques de gran poder, sería de dimensiones moderadas, y aunque el total de la maquinaria podría en algunos casos no estar completamente bajo la línea de agua, las partes sobre ella podrían ser protegidas no solamente por una coraza, sino además por cierta cantidad de carbón, ya que las carboneras se instalaron a continuación de las máquinas, hacia los costados del buque. Esta extensión del uso de las máquinas verticales ha continuado y ha sido aplicada a

todas las clases de buques, habiéndose instalado a menudo medios para proteger los cilindros.

Máquinas de tres cilindros

A medida que el poder de las máquinas compuestas aumentaba, las dimensiones de los cilindros de baja presión (BP) llegaron a ser tan grandes que se encontró deseable instalar dos cilindros de BP en vez de uno, como consecuencia de las dificultades experimentadas en obtener buenas fundiciones para estas piezas de grandes dimensiones y mantener el tamaño de las partes recíprocas lo más pequeña posible.

Esto llevó a lo que se conoce como máquina compuesta de tres cilindros, la cual es simplemente una modificación de la máquina compuesta ordinaria de dos cilindros.

Máquina de triple expansión

Con presiones de vapor iniciales de sobre 100 libras por pulgada cuadrada, la variación de temperatura en cada cilindro de una máquina compuesta ordinaria llegó a ser de nuevo muy grande, de modo que la economía total debido a la más alta presión no podía obtenerse debido a las pérdidas por condensación. Por consiguiente, pronto se encontró deseable extender el sistema compuesto y dividir la expansión en tres estados, de modo de reducir el rango de temperatura en cada uno de ellos. Las máquinas basadas en este sistema son usualmente conocidas como máquinas de triple expansión. La disposición general de este tipo de máquina puede apreciarse en las figuras Nos 18 y 19.

Estas máquinas fueron introducidas por el Sr. A.C. Kirk, de la firma R. Napier & Sons, de Glasgow, quien en 1874 las instaló a bordo del vapor *Propontis*, para utilizar vapor de 150 libras por pulgada cuadrada suministrado por calderas de tubos de agua Rowan & Horton's. Ellas dieron muy buenos resultados económicos, pero infortunadamente las calderas produjeron muchas dificultades y debieron ser retiradas y cambiadas.

Se avanzó muy poco en este respecto, hasta que en 1881 el Sr. Kirk instaló un juego de máquinas de triple expansión a bordo del vapor *Aberdeen*, para el tráfico a Australia y China. Los resultados, en este caso, fueron tan satisfactorios que siguieron varias máquinas de este

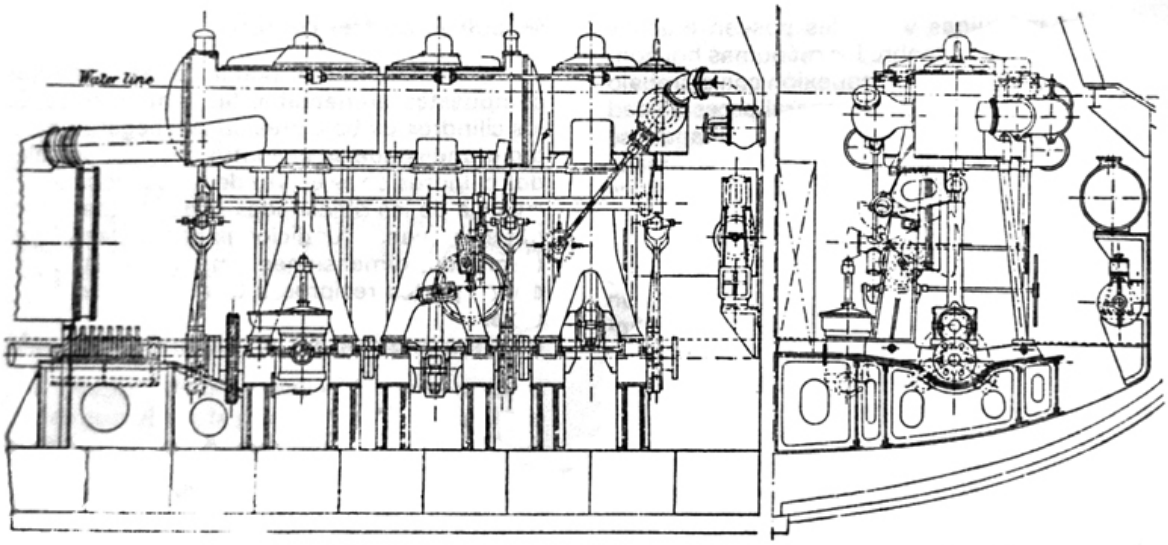

Figura Nº 18
VISTA EN CORTE LATERAL DE UNA MAQUINA DE TRIPLE EXPANSION

Figura Nº 19
VISTA TRANSVERSAL DE LA MAQUINA DE LA FIG. Nº 18

tipo y el sistema fue pronto adoptado en gran escala por la marina mercante.

Desde 1885, los nuevos buques para la Armada Real Británica han sido equipados con máquinas de triple expansión, cuyo tipo se generalizó para empleo general a comienzos de este siglo.

La presión de vapor usada primeramente en ellas por la armada fue de 130 libras por pulgada cuadrada, la cual fue gradualmente aumentada a 155 libras por pulgada cuadrada, en el año 1887. Desde esa fecha hasta 1895, gran número de máquinas de triple expansión fueron agregadas a la armada, todas ellas para una presión de vapor de 155 libras por pulgada cuadrada.

En los grandes cruceros *Powerful* y *Terrible*, comenzados a construir en 1893 y probados en 1896 y 1897, se adoptó una presión de las calderas de 260 libras por pulgada cuadrada, reducida a 210 en las máquinas, mientras que en los cruceros de 1895 y posteriores estas presiones fueron aumentadas a 300 y 250 libras por pulgada cuadrada, respectivamente.

Las máquinas de triple expansión se construían con la expansión de baja dividida en dos cilindros, de modo que la máquina tenía cuatro cilindros.

La ganancia en economía efectuada por la máquina de triple expansión con vapor, de 130 a 150 libras por pulgada cuadrada de presión, sobre la máquina compuesta ordinaria, trabajada con vapor de 90 a 100 libras por pulgada cuadrada de presión, puede ser tomada en 15 a 20%. Mientras que con presiones más elevadas será aun mayor.

Máquinas de cuádruple expansión

En muchos casos, en la marina mercante el principio de expansión por estados se ha llevado hasta instalar máquinas de cuádruple expansión, dividiendo la expansión del vapor en cuatro estados. La figura N° 20 muestra un modelo de máquina de cuádruple expansión. Las presiones de las calderas de esos buques promediaban las 215 libras por pulgada cuadrada, siendo en algunos casos de 267 libras por pulgada cuadrada.

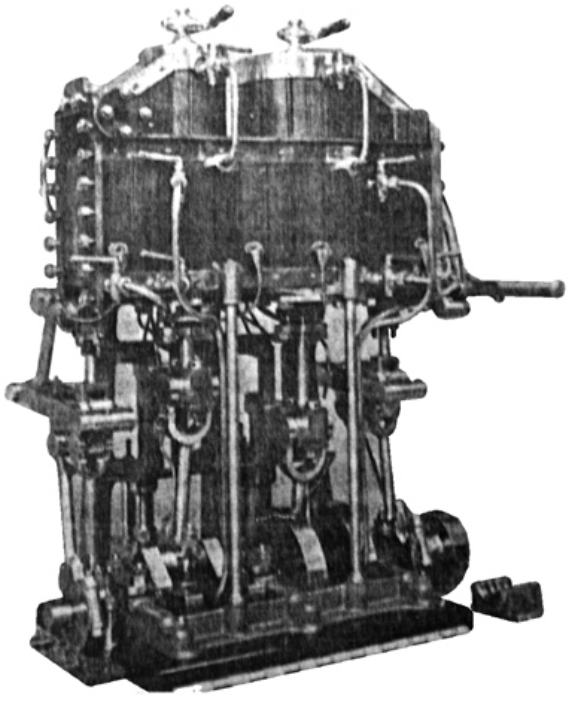

Figura Nº 20
MODELO DE MAQUINA DE CUADRUPLE EXPANSION CON LOS CILINDROS EN "TANDEM", DE 14 CV
(Foto *British Crown*)

Estas máquinas son más apropiadas para la marina mercante, donde el rango de poderes requerido por ellas es limitado, a diferencia de las empleadas en la armada, donde el rango de poderes es muy amplio y grande. La complicación adicional introducida con estas máquinas y la mayor longitud de la sala de máquinas requerida junto con el aumento de fricción de la máquina son compensadas por una suficiente ganancia en la economía, lo que ha hecho que se fueran introduciendo gradualmente en los buques mercantes. En la armada, en cambio, sólo un torpedero y algunos buques menores la habían adoptado, en 1902.

Mejoras en la economía

A comienzos de este siglo, como consecuencia de las mejoras efectuadas, el consumo de carbón en los últimos modelos de máquinas de aquel entonces llegó a ser menos de un tercio del requerido para las máquinas usadas antes de 1860, y el efecto de esta gran reducción en el consumo de carbón en los buques de guerra trajo dos grandes efectos:

1. El aumento de la distancia que son capaces de navegar sin agotar su suministro de carbón ha hecho posible que los buques acorazados, sin mástiles para velas, puedan efectuar largos viajes en alta mar, y
2. La reducida cantidad de carbón que necesita ser llevada a bordo para un mismo radio de acción dejó disponible peso y espacio para ser destinado a otros objetos, como poder aumentar su poder ofensivo y defensivo.

Para la marina mercante se derivaron también beneficios correspondientes.

Tiraje forzado

Las condiciones de servicio de los buques de la armada hace necesario que en ocasiones especiales, tales como acciones de combate, caza, etc., puedan ser capaces de desarrollar elevados poderes y alta velocidad, aunque la mayor parte del tiempo emplean para navegar poderes relativamente bajos.

Debido a esto, en los buques de guerra es deseable proveer un medio especial para forzar las calderas cuando se requiere dar toda la velocidad. Antiguamente se usaba para este propósito un chorro de vapor en la chimenea, con lo que aumentaba el tiraje, pero esto producía un gran gasto de agua dulce. En 1882 se adoptó el sistema de instalar los fogones en compartimientos cerrados y mantenerlos bajo presión de aire mediante ventiladores, lo que con ciertas variantes se ha mantenido hasta ahora. Los resultados han sido satisfactorios, puesto que solamente se usa una presión de aire moderada para lograr un considerable aumento en los poderes de generación de las calderas.

La introducción del "tiraje forzado" ha hecho posible reducir considerablemente el peso de la maquinaria, que para los buques de guerra de 1902, equipados con calderas cilíndricas, era de alrededor de 1,75 cwt por IHP desarrollado, usando tiraje forzado moderado.

Comparación de las primeras máquinas a vapor, con las de 1902

De este breve esbozo es posible formarse una idea general del progreso y evolución de la ingeniería marina y del desarrollo de la navegación a vapor, desde sus inicios hasta comienzos del presente siglo.

Podemos apreciar el enorme camino recorrido desde los primeros intentos de Papin en 1707, de aplicar el vapor a la propulsión marina, hasta llegar a 1832, donde el *Salamander*, que desplazaba 275 toneladas, desarrollaba 400 IHP y consumía 7 a 8 libras de carbón por caballo de fuerza. Vemos como perfeccionando los sistemas empleados, los buques de guerra de comienzos de siglo, usando maquinaria de ese mismo peso, con calderas que trabajaban con un tiraje forzado moderado, eran capaces de desarrollar

satisfactoriamente a lo menos 3.000 IHP con cerca de un cuarto del consumo de carbón por caballo de fuerza, ocupando un espacio considerablemente menor.

Otra característica importante es el gran aumento en la potencia total disponible para la propulsión de buques de alta velocidad. Por ejemplo, el *Terrible*, que en 1845 era tal vez el mejor buque de guerra a vapor, desarrollaba menos de 2.000 IHP y su velocidad era de alrededor de 10 nudos, mientras que el *Terrible* de 1902, que era un crucero de primera clase, desarrollaba una potencia de 25.600 IHP y una velocidad de 22,8 nudos. En otros cruceros la potencia llegaba a unos 31.000 IHP, como en el *Good Hope*, mientras que en el servicio transatlántico de pasajeros el máximo de poder obtenido en aquella época fue de 36.000 IHP.

Evolución de las calderas marinas

Las calderas o generadores de vapor constituyeron, sin lugar a dudas, uno de los elementos más importantes del sistema de propulsión mecánica de los buques a vapor, y su evolución —representada especialmente por el aumento de las presiones de trabajo y de las temperaturas correspondientes del vapor— hizo posible diseñar y construir máquinas a vapor cada vez más eficientes, de mayor potencia, menor peso y volumen y de menor consumo de vapor, y por tanto de combustible, cuya operación resultó cada vez mas económica.

Las primeras calderas usadas a bordo fueron una adaptación de las de uso terrestre de la época, y en sus comienzos no fueron mas que un "hervidor de agua" que generaba vapor a cero presión sobre la atmosférica, es decir, la que tiene el vapor cuando se desprende de la superficie del agua de un recipiente que hierve al aire libre, como era el caso del vapor usado en la máquina de Newcomen, la cual fue empleada por Jonathan Hull para propulsar su remolcador a vapor en el año 1736.

El *Estrella Naciente* de Cochrane, construido en 1818, tenía dos calderas primitivas cuyos fogones estaban dispuestos para quemar indistintamente carbón o leña y generaban vapor a una presión ligeramente superior a la atmosférica, que se supone debió ser de no más de dos libras por pulgada cuadrada.

El vapor *Salamander*, construido por la casa Maudslay para el Gobierno británico, tenía calderas del tipo de fluxes internos, que no eran otra cosa que tubos de gran diámetro que atravesaban la masa de agua de la caldera, por el interior de los cuales circulaban los gases calientes de la combustión. Estas calderas eran capaces de trabajar con una presión de vapor de cuatro libras por pulgada cuadrada.

En 1839 se construyeron en Escocia los vapores *Hecate* y *Hecla*, para la Armada Real Británica, provistos de calderas cuadrangulares de tres libras por pulgada cuadrada de presión del vapor, cuya disposición, junto con la de la maquinaria propulsora, se aprecian en la figura N°21.

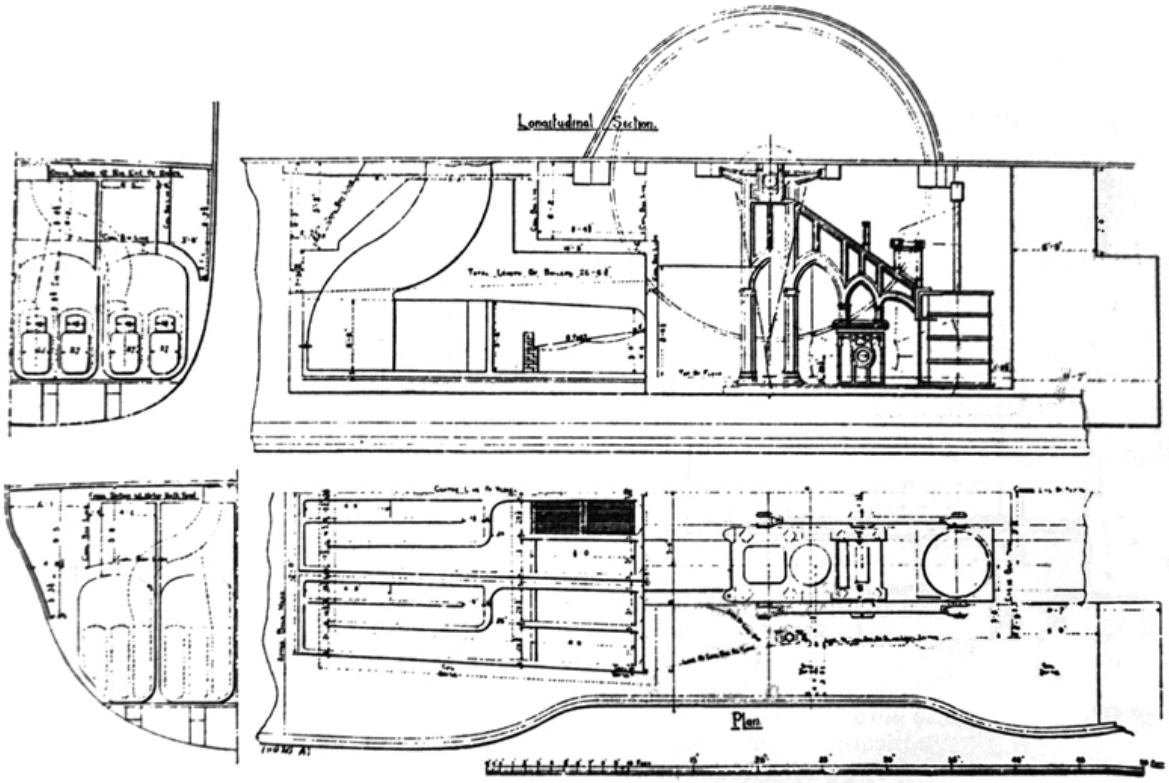

Figura Nº 21
DISPOSICION DE LA MAQUINARIA DE LOS VAPORES "HECLA" y "HECATE", CONSTRUIDOS EN 1839

Hasta el año 1843, prácticamente todas las calderas usadas a bordo eran del tipo de fluxes internos y de muy baja presión, la que no superaba las cuatro libras por pulgada cuadrada. En ese año comenzó a generalizarse la caldera tubular o de tubos de fuego, que había sido inventada algunos años antes, y esto hizo posible que la presión del vapor se elevara hasta 10 y 12 libras por pulgada cuadrada, valor que se usó hasta 1850 como un valor medio, llegando en algunos casos a usarse una presión de 15 libras por pulgada cuadrada.

A partir de 1860, como consecuencia de la mejora en los materiales empleados y del perfeccionamiento de la mano de obra, la presión de trabajo de las calderas pudo elevarse a 20 libras por pulgada cuadrada.

Los condensadores usados hasta esa fecha eran del tipo de mezcla o chorro, es decir, el vapor trabajado en las máquinas era condensado al inyectársele un chorro de agua de mar, con lo que se obtenía una mezcla ligeramente menos salobre que el agua de mar con la que se alimentaban las calderas. Esta agua de alimentación con alto contenido de sales producía incrustaciones en las superficies de calefacción, que impedían la transmisión del calor, haciendo subir la temperatura en forma peligrosa para las partes metálicas, lo que impedía elevar la presión de trabajo de las calderas.

En esa misma fecha comenzó a usarse el condensador de superficie, inventado por Watt y puesto en uso práctico por Mr. Hall, con el que se evitó la contaminación del vapor condensado con agua salada y con ello, al eliminarse el peligro de las incrustaciones en las superficies internas de las calderas, su presión máxima, que era de 25 libras por pulgada cuadrada, pudo ser elevada, y es así como en la década de 1860 a 1870, al ser adoptado el condensador de superficie en casi todas las máquinas, la presión de las calderas se aumentó a 30 libras por pulgada cuadrada.

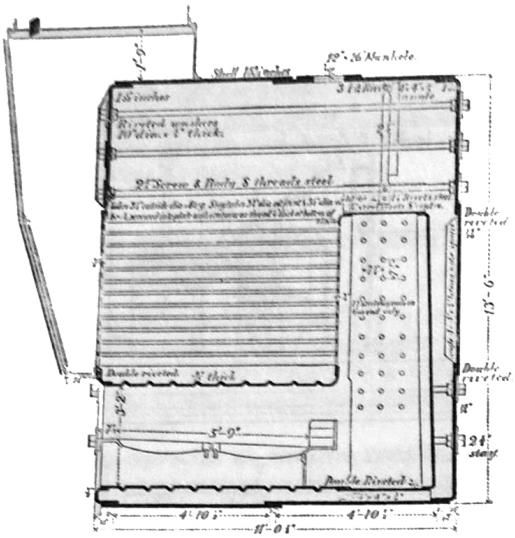

Figura Nº 22
VISTA EN CORTE LATERAL DE UNA CALDERA CILINDRICA
DE LLAMA DE RETORNO DE SIMPLE FACHADA

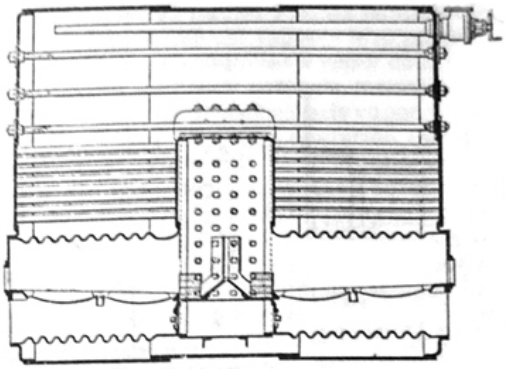

Figura Nº 23
VISTA EN CORTE LATERAL DE UNA CALDERA
CILINDRICA DE LLAMA DE RETORNO
DE DOBLE FACHADA

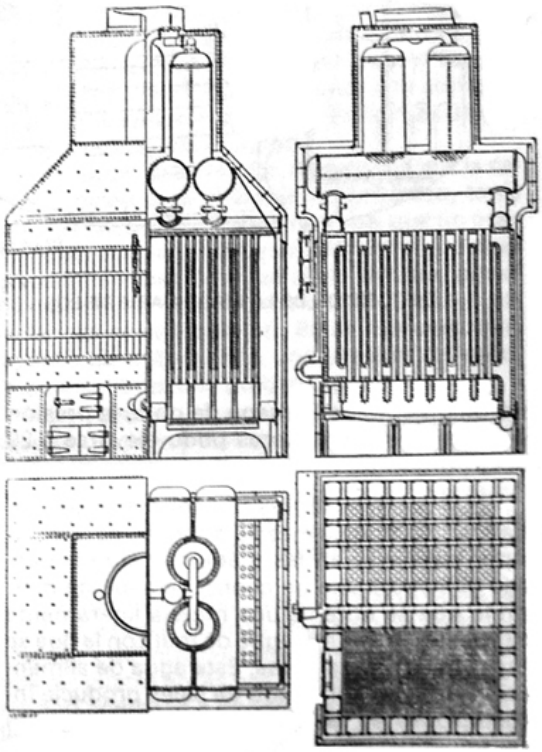

Figura Nº 24
DETALLE DE UNA CALDERA MULTITUBULAR
ROWAN & HORTON'S

Este aumento en la presión de las calderas produjo el abandono del tipo de calderas prismáticas de costados planos que se conformaban mejor a los costados o sección del buque y que se habían reforzado con estayes o tirantes adicionales para permitirles soportar presiones de vapor de 30 a 35 libras por pulgada cuadrada. En su reemplazo se instalaron las calderas cilíndricas de tubos de fuego, que soportaban mejor las mayores presiones del vapor, cuya disposición puede apreciarse en las figuras Nos 22 y 23.

En esa época se introdujo el uso del sobre-calentador, el que teóricamente permitía un aumento de la eficiencia, pero dificultades prácticas derivadas principalmente del deterioro que sufrían las superficies deslizantes de los anillos de los pistones y de los espejos de las válvulas, ya que el vapor sobrecalentado no tiene las propiedades lubricantes del vapor saturado húmedo, hizo que su uso fuera abandonado alrededor del año 1889, para ser puesto en uso nuevamente a comienzos de nuestro siglo.

zado, instalándose los fogones en compartimientos cerrados sometidos una ligera presión de aire mediante el empleo de ventiladores.

Con el uso del acero en la construcción de las calderas, que reemplazó al fierro, el que a su vez había sustituido al latón, y con el empleo de los fogones de acero corrugados, la presión del vapor continuó aumentando, hasta llegar a las 150 libras por pulgada cuadrada, sin inconvenientes.

En 1874 se comenzaron a usar máquinas de triple expansión que trabajaban con una presión de 150 libras por pulgada cuadrada, generada por calderas de tubos de agua Rowan & Horton's que ya habían sido usadas el año 1858 para la propulsión del vapor *Thetis* con

una presión de 115 libras por pulgada cuadrada. La figura N° 24 muestra el detalle de la mencionada caldera.

En 1852 se adoptó el sistema de tiraje forzado, instalándose los fogones en compartimientos cerrados sometidos una ligera presión de aire mediante el empleo de ventiladores.

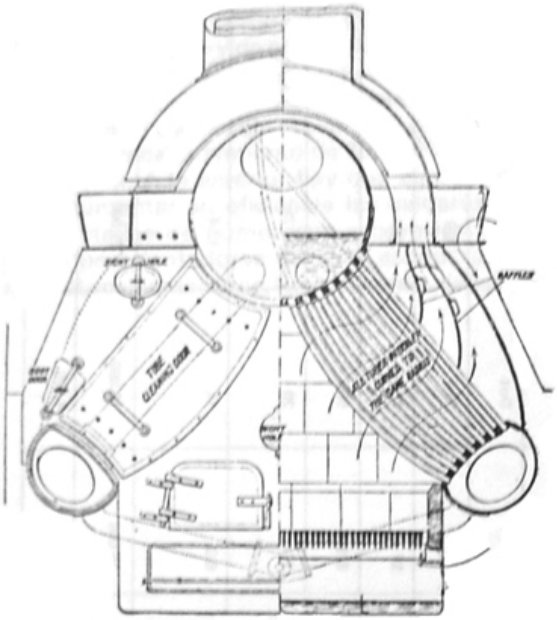

Figura N° 25
ESQUEMA DE CALDERA WHITE FOSTER

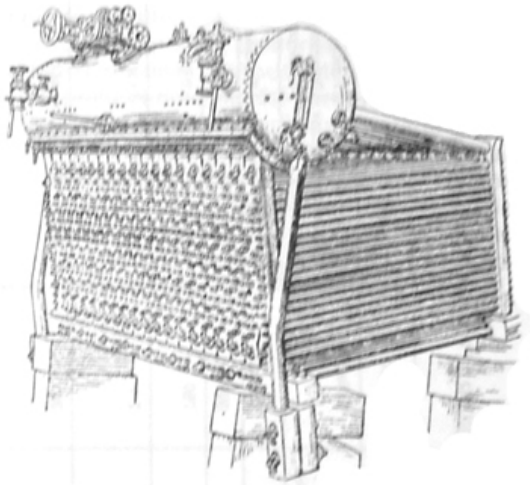

Figura N° 27
VISTA DE CALDERA BABCOCK & WILCOX

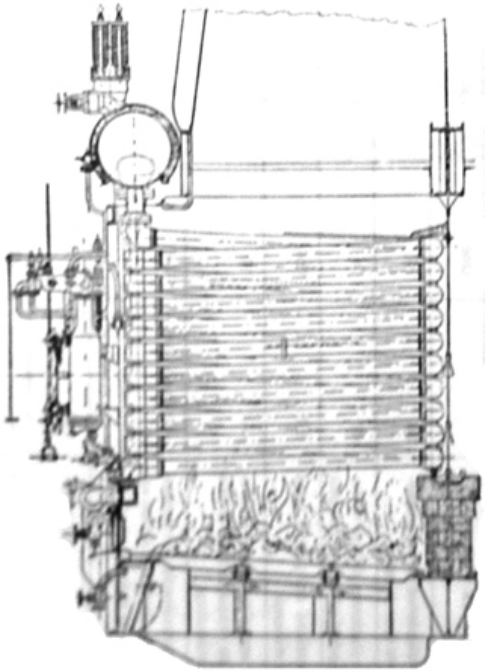

Figura Nº 26
ESQUEMA DE UNA CALDERA BELLEVILLE

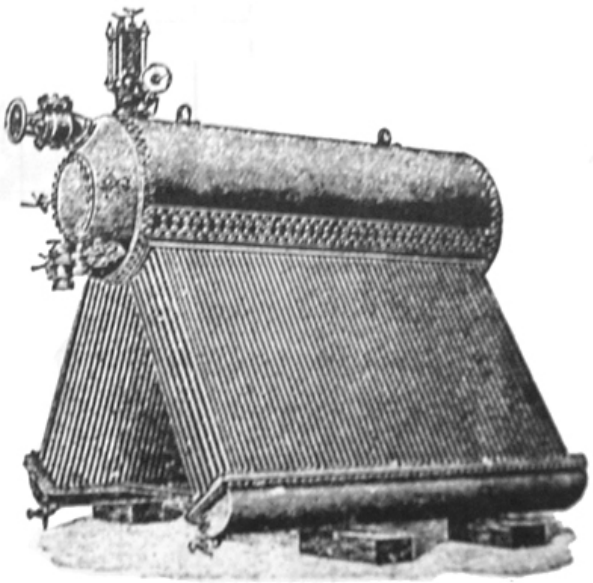

Figura N° 28
VISTA DE CALDERA YARROW

En el cuadro Nº 1, tomado del libro Two Centuries of Shipbuilding, de los Astilleros Scotts, se muestra la evolución de la maquinaria de los buques de guerra desde 1850 a 1918, pudiendo apreciarse en él el desarrollo de las calderas durante ese período.

Desde comienzos de este siglo, hasta el presente, el adelanto experimentado por las calderas ha sido espectacular lográndose obtener unidades compactas de tamaño relativamente pequeño y de gran poder evaporativo, con una presión de trabajo que supera ampliamente las 1.200 libras por pulgada cuadrada, que generan vapor sobrecalentado con un grado de sobrecalentamiento de 700 a 800 grados Fahrenheit. A lo anterior hay que agregar que para aumentar su eficiencia las calderas han sido dotadas de numerosos accesorios, tales como precalentadores de aire, economizadores, sobrecalentadores, tiraje forzado, desobrecalentadores, etc. Cabe agregar que desde comienzos de siglo las calderas comenzaron a usar petróleo como combustible, abandonando poco a poco el empleo del carbón.

No pretendemos escribir un tratado sobre calderas, pero estimamos de interés nombrar algunos de los tipos de calderas multitubulares que han usado nuestros buques, tales como: la Babcock & Wilcox, Niclause, White Foster, Belleville y Yarrow, cuyos detalles pueden apreciarse en las figuras Nº 25, 26, 27 y 28.

CUADRO Nº 1

EVOLUCION DE LA MAQUINARIA PROPULSORA DE LOS BUQUES DE GUERRA, DESDE 1850 A 1918

DETALLE/AÑO	1850	1865	1875	1885	1895	1905	1910	1918
Tipo de caldera	Rectangular tubos de latón	Rectangular tubular	Rectangular tubular	Ovaladas, tubos de fuego	Cilíndricas, tubos fuego, llama retorno	Belleville	Tubos de agua Babcock & Wilcox Yarrow	Tubos de agua Babcock & Wilcox o Yarrow
Clase combustible usado	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón	Carbón y petróleo	Petróleo
Presión de trabajo	15 lb	30 lb	30 lb	65 lb	155 lb	300 lb	235 lb	235 lb
Caballos de fuerza por caldera	175	520	670	700	1.250	750	1.500	3.100
Superficie de calentamiento por caballo de fuerza (pies cuadrados)	Alrededor de: 6-0	4-0	2-9	2-7	2-0	2-4	2-1	1-4
HP aproximado por tonelada de maquinaria del salón de calderas, incluyendo el agua de éstas	---	9-1	10-8	12	16-25	24	29-5	44-0
Tipo de máquinas	Horizontales con engranajes	Horizontales de tronco	Horizontales barra-invert.	Vertical compuesta	Vertical triple expansión	Vertical triple expansión	Tubinas a vapor reacción Parsons	Turbinas a vapor Parsons o Brown Curtie
Número de ejes propulsores	Uno	Uno	Uno	Dos	Dos	Dos	Cuatro	Cuatro
Revoluciones de los propulsores (por minuto)	99	74	70	88	97	113	320	275
Revoluciones de los motores principales (por minuto)	42	74	70	88	97	113	320	275
Velocidad del pistón (pies por minuto)	336	590	600	615	825	960	---	---
HP aproximado de tonelada de maquinaria de la sala de máquina	---	10	14-5	14-5	17-0	20	26-25	38-0
HP aproximado por tonelada de maquinaria de los salones de máquinas y calderas	Alrededor de: 4	4-8	6-2	5-6	8-3	11	12-4	20-5
HP de las máquinas propulsoras principales	700	4.700	6.700	7.000	10.000	15.000	25.000	75.000
HP aproximado de las máquinas auxiliares	---	500	1.200	1.200	3.400	4.200	6.000	---