

CAPÍTULO III

EL

SISTEMA

DE PROPULSIÓN

DEL RMS “TITANIC”

“...nos llevaría demasiado lejos hablar ahora de cómo esta invención se presta a ser empleada en la extracción de las aguas de las minas, en el lanzamiento de granadas, y en la conducción de veleros en dirección contraria al viento...”

Palabras del prominente físico Dionisio Papin (1647 – 1721), dirigidas al conde Ludwig Von Sinzendorf, en el transcurso del año 1690, refiriéndose a las posibilidades técnicas del vapor en cuanto a su utilización como fuente de energía para la propulsión de navíos .-

“Todo lo que el hombre sembrare..... eso también cosechará” .

Apóstol San Pablo, también llamado el “Apóstol de los Gentiles” .-

Aunque me pareció bastante explicativo la descripción, enumeración y demás de los elementos que habrían de darle movimiento al tristemente famoso coloso de la White Star Line, el inolvidable RMS “Titanic”, me pareció de todos modos correcto el intentar detallar un poco más el **sistema de propulsión** que habría de dar vida al barco de los sueños, esto es su movimiento, que, como todos sabemos, se demuestra andando. Es que la temática del RMS “Titanic” puede llegar a ser interminable y apasionante, si su historia, leyenda, realidad o mentira, devenires históricos y un largo etcétera se apodera de un individuo cuya alma sea un fértil terreno para sacar a luz todo su potencial: por supuesto, no este mi caso, sino simplemente una observación al margen.

Pero así y todo debo reconocer que, revisando libros de estudio del tiempo en que cursaba las distintas asignaturas de **Ingeniería Mecánica** en la **Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de La Plata, Pcia. de Buenos Aires**, encuentro cosas sobre la turbina **Parsons**, ciclos de rendimiento del vapor y demás consideraciones técnico – constructivas de los elementos de generación de velocidad en buques y aviones, o en todo aquel equipamiento necesitado de la provisión del vapor de agua, destinado, justamente, a la producción de movimiento. Por ello, teniendo en mano un artículo escrito por el **Sr. Mark Chirnside**, publicado en la **Encyclopedia Titanica** (en su página Web), al cuál accedí el día **31 de Marzo** del año **2002**, decidí estudiar un “poquito” el tema en cuestión, pero no solamente desde el punto de vista de “**aquél sistema que habría de impulsar al barco de los sueños**”, sino (también...) teniendo en cuenta sus bases técnicas, fundamentos teóricos, algunas formulaciones matemáticas y unos pocos gráficos como para ubicar al posible lector de estas líneas en tiempo y espacio, pero fundamentalmente en lo que hace al aspecto casi desconocido de lo que significó el sistema de propulsión del barco más grande construído hasta ese entonces, en un lejano año de 1912, el “Titanic”.

Obviamente, no ingresaré en un estudio profundo y extenso sobre los tópicos antes descriptos, sino más bien, lograr, de modo sencillo, que un lector que no esté familiarizado con la Ingeniería Mecánica, Hidráulica y/o Naval pueda llegar a entender, aunque así más no sea, el **CONCEPTO TÉCNICO DEL SISTEMA IMPULSOR** de lo que llegó a ser el orgullo de la White Star Line.

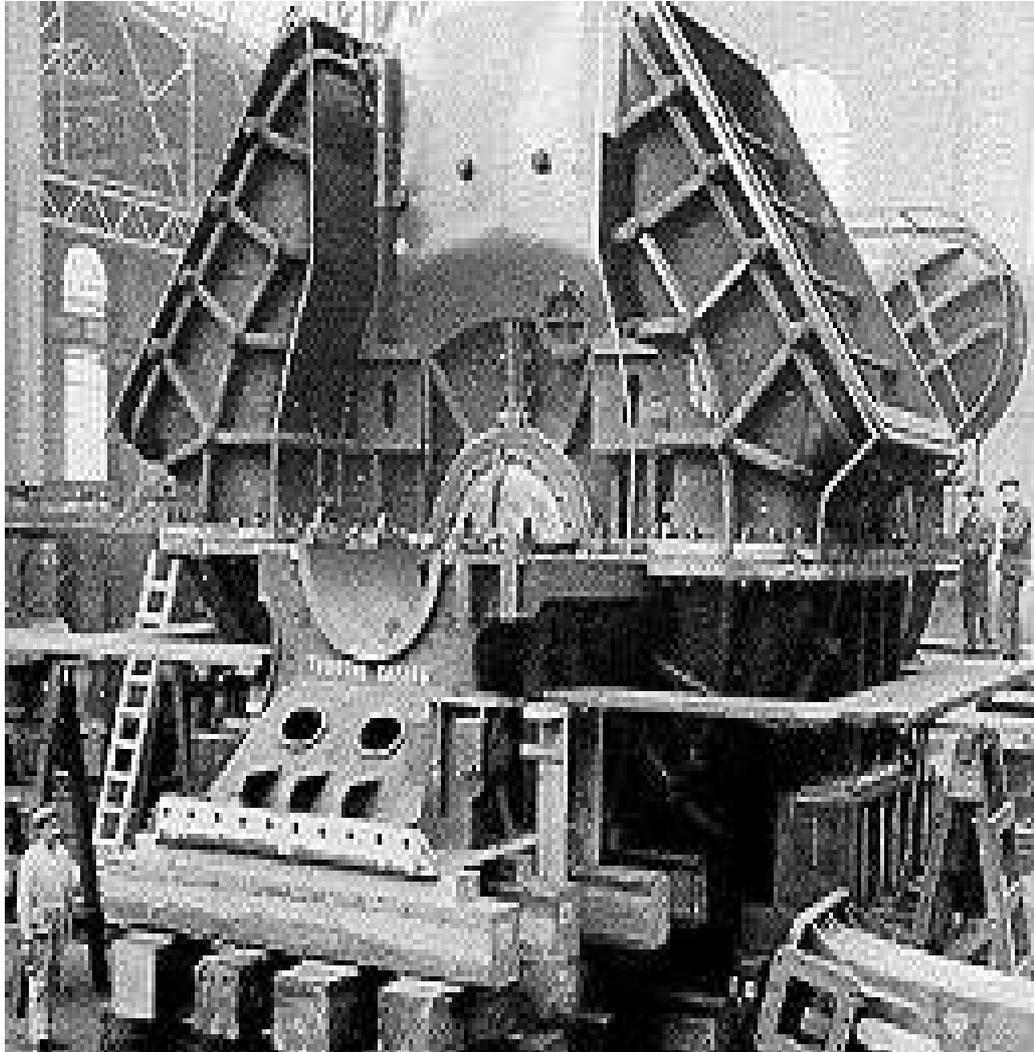


Foto N° 46: Una impresionante fotografía (desde el punto de vista histórico e ingenieril) en la que se puede observar el estator de la turbina Parsons (constituyente del RMS “Titanic”) al momento del montaje. Nótese la altura de dicho elemento mecánico comparado con el “potro” de apoyo, el alto de los hombres a sus costados y las ventanas del taller.-

Es por ello que recurriré a diversas fuentes, entre ellas libros de Ingeniería (en variados y diferentes temas: turbinas de vapor, metalurgia y fundición, etc.), ilustrado con gráficos y demás.

Ingresemos pues al tema que nos hemos planteado, esto es, el **sistema de propulsión del RMS “Titanic”**.

Comencemos diciendo que una **turbina de vapor** se puede definir como una **máquina térmica**, en la cuál la **energía calórica del vapor** se transforma en **energía cinética** en las toberas, transformándose a su vez esta mencionada energía cinética en **fuerza**, que desarrolla **trabajo**, al actuar el vapor sobre álabes o paletas montadas en un elemento rotatorio. La turbina común consta de cuatro (4) elementos fundamentales: el **rotor**, que porta los álabes; el **estator**, formado por un cilindro y una carcaza que a menudo están combinadas y en el interior de los cuales gira el rotor; las **toberas** o conductos por los que fluye el vapor, y que generalmente están fijadas en el interior del cilindro, y el **bastidor** o base para soportar al estator y al rotor, apoyándose éste último sobre cojinetes. El cilindro, la carcaza el bastidor se encuentra, frecuentemente, combinados, en especial en las pequeñas unidades, aquellas destinadas a la producción de vapor para industrias chicas y/o medianas, producción de vapor destinada a la generación de electricidad en grupos electrógenos de ciudades o conglomerados urbanos de bajas densidades poblacionales, etc. Los accesorios necesarios para el funcionamiento (comercial) continuo de la turbina (que, en cierto modo, aseguran el éxito del mismo) son los siguientes: el **sistema de regulación**, el cuál ajusta la energía que en forma de vapor debe recibir la turbina, de acuerdo a la carga que soporta, para mantener constante su velocidad; el **sistema de lubricación**, las **tuberías** para el vapor de alimentación y de escape, para finalmente, presentar (generalmente en sistemas de generación económica de grandes potencias) un **sistema de condensación**.

En Ingeniería se realiza una clasificación de las turbinas, dada del siguiente modo:

A): De acuerdo con la forma de los canales comprendidos entre las paletas (o álabes) por dónde circula el vapor en la turbina:

- a) De acción o impulso.
 - 1.-De una sola etapa.
 - 2.-Con salto de velocidad (conocida como Curtis).
 - 3.-Con salto de presión (conocida como Rateau).
 - 4.-Con saltos de velocidad y presión.

b) De reacción (conocida como Parsons).

c) De acción y reacción.

B): Con respecto al diseño interno y a la secuencia de flujo:

- a) De flujo simple.
- b) De doble flujo.
- c) Compuesta (“compound” en su acepción del idioma inglés), llamada también multicilíndrica, con dos o tres cilindros, cruzados o en “tándem”.
- c) De flujo dividido.

C): Con respecto a la dirección del flujo de vapor relativa al plano de rotación:

- a) De flujo axial.
- b) De flujo radial.
- c) De flujo tangencial.

D): Con respecto a la repetición del flujo de vapor a través de los álabes:

- a) De un solo paso.
- b) De flujo repetido.

E): Con respecto a la velocidad de rotación:

- a) Para generadores de 60 Hz.
- b) Para generadores de 50 Hz. (práctica europea).
- c) Para generadores de 25 Hz.

d) Para unidades de acoplamiento directo o con engranajes, o para el accionar de unidades eléctricas marinas sin exigencias especiales de velocidad.

F): Con respecto al movimiento relativo del rotor o de los rotores:

- a) De movimiento simple, monorotatoria.
- b) De movimiento doble, birotatoria.

G): Con respecto a las condiciones de empleo :

- a) De alta presión con condensación.
- b) De alta presión sin condensación.
- c) De contrapresión.
- d) De superposición.
- e) De dos presiones.
- f) Regenerativa.
- g) De extracción simple.
- h) De doble extracción.
- i) Con sobrecalentamiento o sin recalentamiento.
- j) De baja presión.

Al no ser mi intención el reescribir un libro sobre turbinas de vapor, objetivo para el cuál ya hay cientos y cientos de ellos escritos por autores mucho más versados que yo en la materia, de todos los países del mundo, me habré de limitar solamente al aspecto de la clasificación precedentemente presentada, en el ítem mencionado como (A), haciendo un sucinto desarrollo explicativo de las indicadas en dicho ítem, para luego entrar de lleno a la conocida como “**Parsons**”, base de la instalación que habría de dar movimiento al gigante de la White Star Line, el RMS “Titanic”. Es de hacer constar que no sólo el buque anteriormente mencionado llevó un sistema de propulsión sobre la base de este tipo de turbinas, sino que, inicialmente, lo hicieron (primero, es obvio...) su hermano gemelo , el **RMS “Olympic”** y luego el **HMHS “Britannic”**, con lo cuál el concepto de utilidad y rendimiento comprobados (prácticamente....) se aplicaron en los gigantes “Britannic” y “Titanic”, a pesar del hundimiento de éste último . A manera de ilustración,

emplearé simples gráficos técnicos, no abundando en complicados y exhaustivos detalles de construcción y ensamblado: tarea que deberá emprender aquél posible lector de estas pocas líneas, de modo de poder conocer un poco más sobre este tema. Eso sí: baste recordarle a semejante intrépido que las materias que estudian el tema de las turbinas a vapor son unas cuantas y llevan años enteros, por lo menos, de cursada.....

De todos modos, trataremos de llevar descripciones lo suficientemente simples como para que el neófito en la materia pueda tener un acercamiento a lo que constituye esta parte poco conocida del RMS “Titanic” .

Habíamos dicho que el término *turbina de acción o impulso* se refiere a un sistema en el cuál el vapor se expande totalmente en las toberas fijas, no produciéndose ninguna expansión en los álabes móviles. Así, en la Foto Nro. **47** aparece una **turbina de acción simple o de una etapa**, mientras que en la Fotografía Nro. **48 (Figura 5 – I)**, se muestran las variaciones (en diagramas) de **velocidad, presión y volumen del vapor**. En esta turbina, el vapor se expande desde su presión inicial hasta la final en una tobera (o juegos de toberas que trabajan todas a la misma presión), resultando así una corriente de vapor a elevada velocidad que penetra entre las paletas y ejerce una fuerza sobre ellas, debido al cambio que sufre su dirección, lo que hace girar el rotor. Toda la energía, de cualquier forma, que se encuentra en el vapor después que éste abandona a las paletas móviles, es energía perdida.

Una *turbina de acción con etapas de velocidad* consta de un juego de *toberas*, seguido de varias *coronas de paletas* , lo que se puede observar en la misma Foto N° **48** en las **Figuras 6-I y 7-I** .Al pasar por la primera corona de paletas, la velocidad del vapor disminuye en virtud del trabajo que realiza sobre ellas, pero a pesar de esto su velocidad es aún elevada. Luego el vapor pasa a través de una corona de paletas fijas llamadas *paletas directrices*, donde su dirección cambia hasta hacerse aproximadamente paralela a la dirección que poseía a la salida de la tobera, descargándose, entonces, en una segunda corona de paletas fijadas a la misma rueda.

Foto N° 47 : En este dibujo, se puede visualizar una turbina de acción simple o también llamada de “Laval” .-

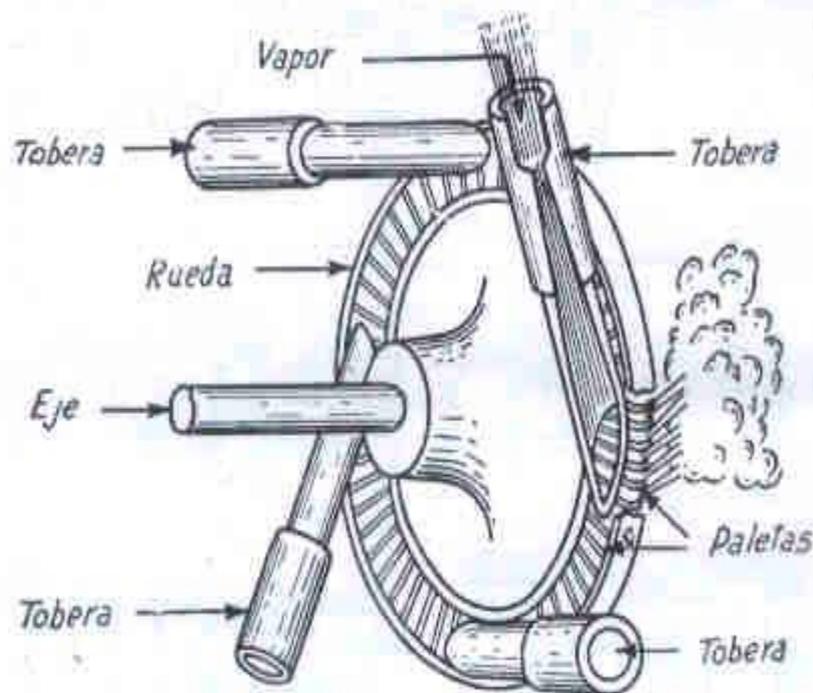


FIG. 11-I. — Turbina de acción simple. (De Laval).

En esta segunda corona, la velocidad del vapor disminuye otra vez en virtud del trabajo que allí realiza. Algunas veces se emplea un segundo juego de paletas directrices y una tercera corona de paletas móviles (fotografías Nros. 48 y 49), mientras que en la foto Nro. 49 (inferior) se observan más en detalle las toberas y las paletas directrices, abulonadas a la parte interior de la caja de vapor.

Foto N° 48 : Observamos en estos diagramas del libro de Church, distintos esquemas de turbinas y sus respectivos diagramas .-

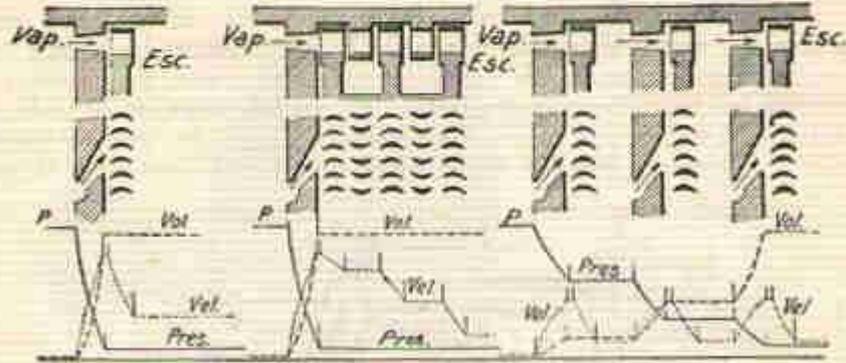


Fig. 5-I. — Turbina de acción simple. — Fig. 6-I. — Turbina de acción con etapa de velocidad. (Curtis). — Fig. 7-I. — Turbina de acción con etapas de presión. (Rateau).

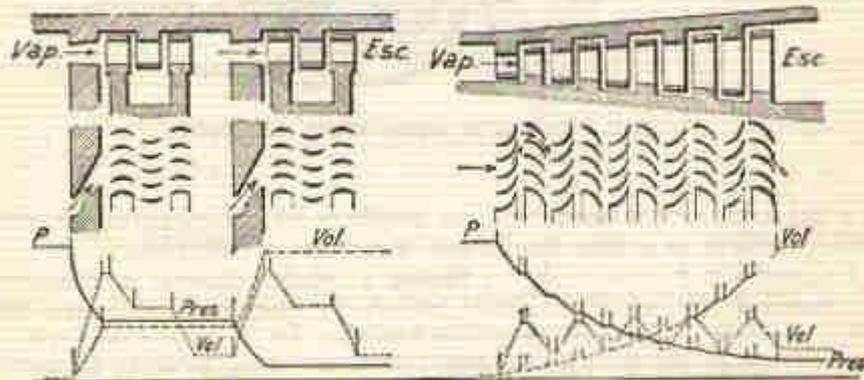


Fig. 8-I. — Turbina de acción con etapas de presión y velocidad (Curtis). — Fig. 9-I. — Turbina de reacción. (Parsons).

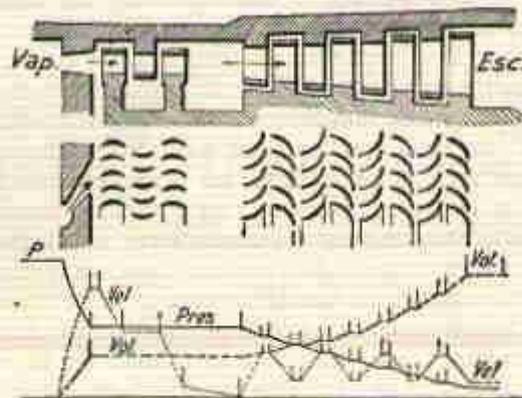


Fig. 10-I. — Combinación de etapas de velocidad y reacción.

Digamos pues que cada una de las series de cámaras constituídas por separaciones paralelas, en forma de discos llamados *diafragmas*, constituyen una turbina de acción simple, cuyas ruedas están aseguradas al mismo eje. Cada cámara recibe el vapor, a su turno, a través de un grupo de toberas instaladas en arco, descargando la última cámara al condensador. La caída total de presión se divide así, en tantas etapas como cámaras hay, designándose a cada una de ellas con el nombre de *etapa de presión*. La velocidad que así adquiere el vapor en cada etapa es relativamente pequeña, permitiendo de esta forma que las paletas móviles giren a velocidad razonable, evitándose excesivas pérdidas por fricción del vapor. El diagrama de la fotografía Nro. **48** (Figura **7-I**) indica que la presión del vapor disminuye en cada etapa, mientras que el volumen aumenta; eso sí, la velocidad del vapor es sumamente elevada a la salida de las toberas y bastante pequeña al abandonar las paletas móviles. Generalmente este tipo de disposición se denomina *turbina de Rateau* y (obviamente....) cada una de las mencionadas etapas, *etapas de Rateau*.

Otra gama en lo que a turbinas se refiera lo constituye el hecho que las mismas poseen combinaciones de etapas de presión y velocidad, que hacen que dichos ingenios mecánicos sean muy empleados, pudiéndose las observar en las fotos Nros. **49** y **50** (inferior), mientras que el respectivo diagrama de funcionamiento se muestra en las Figuras de la fotografía Nro. **48** (Figura **8 – I**). Resaltemos que en cada cámara existe una rueda que lleva dos coronas de paletas en vez de una. La turbina posee tantas etapas de presión como ruedas, y cada etapa de presión tiene tantas etapas de velocidades como coronas de paletas hay en la rueda de la etapa. De esta manera, con esta disposición se obtiene una turbina que resulta más pequeña, de menor longitud y más barata, pero haciendo un moderado sacrificio en lo que atañe al rendimiento, algo sumamente importante en todo lo que se refiera al tema turbinas. Así, las turbinas de este tipo reciben el nombre de *turbinas de Curtis* o simplemente *turbinas Curtis* (Foto N° **49**), llamándose *etapa de Curtis* a cada etapa de presión que puede constar de dos o más etapas de velocidad.

Ahora bien, y siguiendo con nuestro derrotero, comentemos que en las turbinas descritas anteriormente el vapor se expandía únicamente en las toberas fijas y fluía a través de los canales que forman las coronas de

paletas, entregando su energía cinética a esas paletas y originado así el movimiento rotatorio .

Foto N° 49 : En esta foto (extraída del libro de Church) observamos el rotor de una turbina Curtis con tres etapas de presión y en la parte inferior, una turbina de acción con una (1) etapa de velocidad, accionada a través de engranajes .-

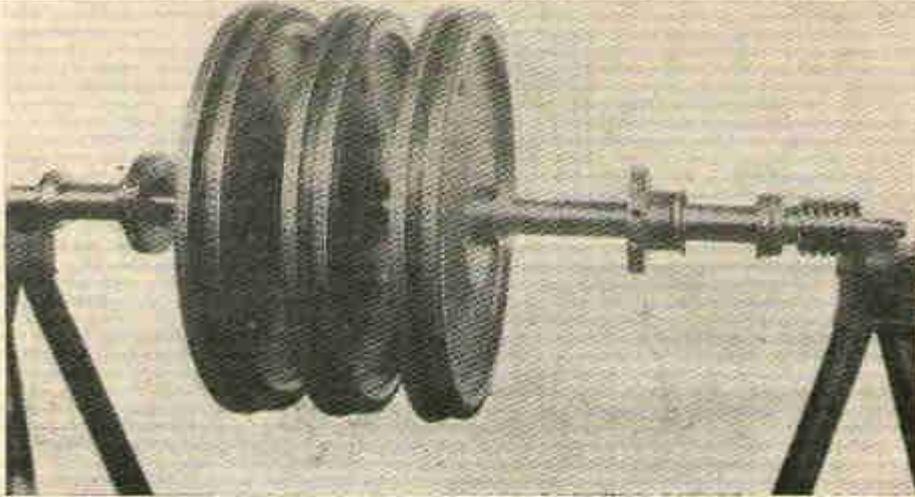


FIG. 16-L. — Rotor de una turbina Curtis con tres etapas de presión.
(General Electric Company).

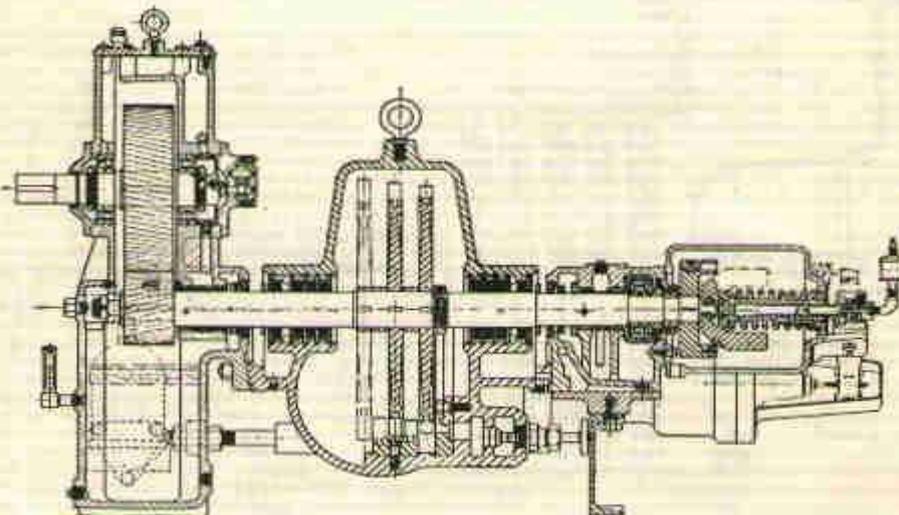


FIG. 17-L. — Turbina de acción con etapa de velocidad, con accionamiento a través de engranajes.

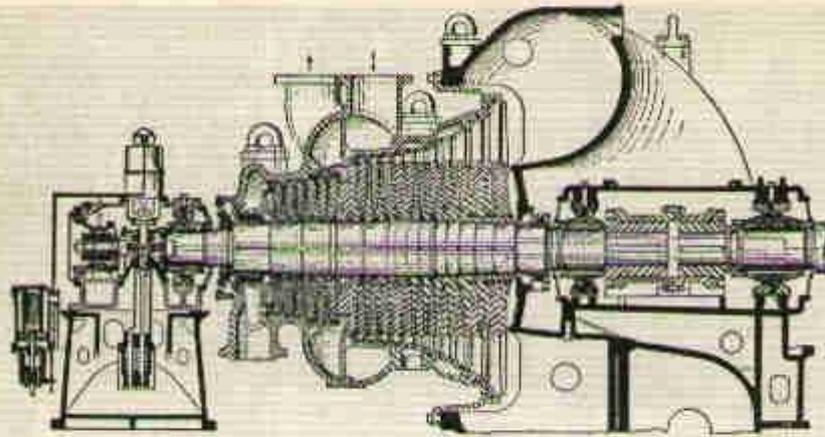


FIG. 33-I. — Turbina de acción con recalentamiento de 19 etapas que desarrolla 35.000 kW a 1.800 v/min.

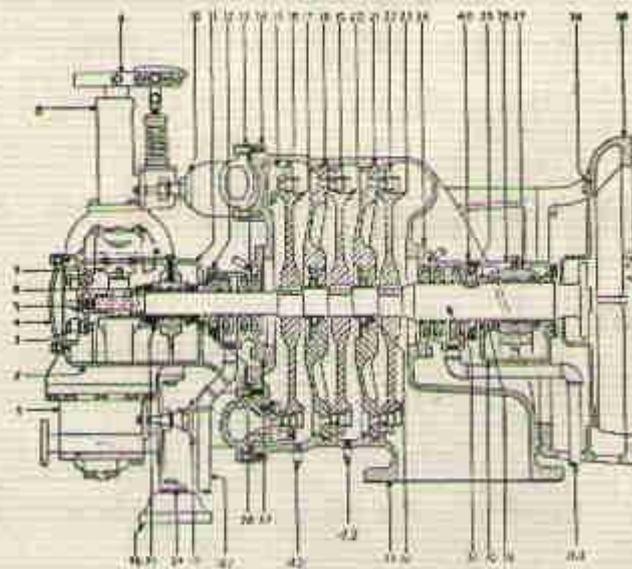


FIG. 34-I. — Turbina Curtis sin condensación, con tres etapas de presión, cada una de las cuales tiene dos etapas de velocidad.

Foto N° 50 : En la parte superior de esta fotografía, podemos observar una turbina de acción con recalentamiento de 19 etapas, mientras que en la parte inferior de la misma se despliega el corte de una turbina Curtis sin condensación, con tres (3) etapas de presión, cada una de ellas con dos etapas de velocidad .-

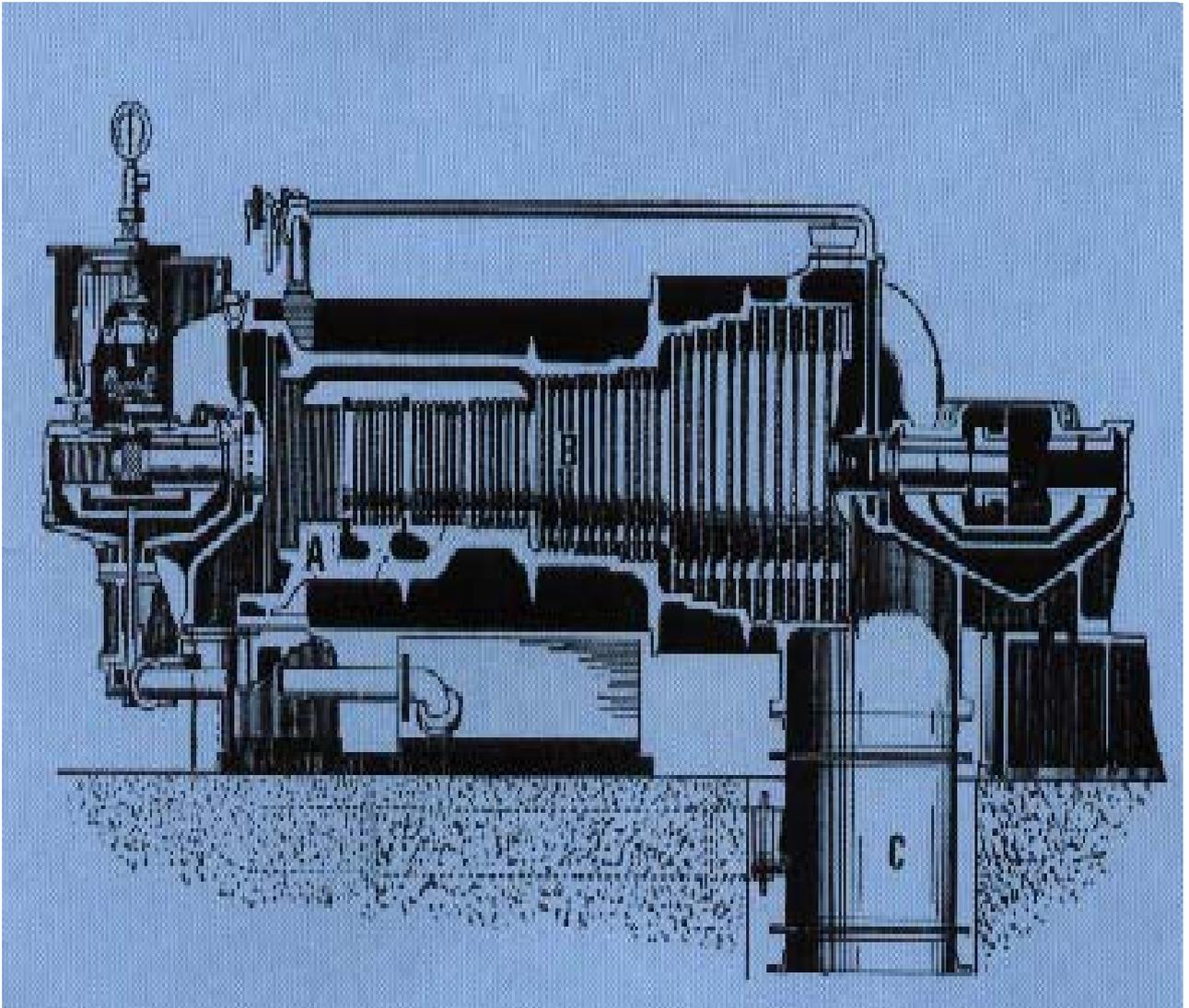
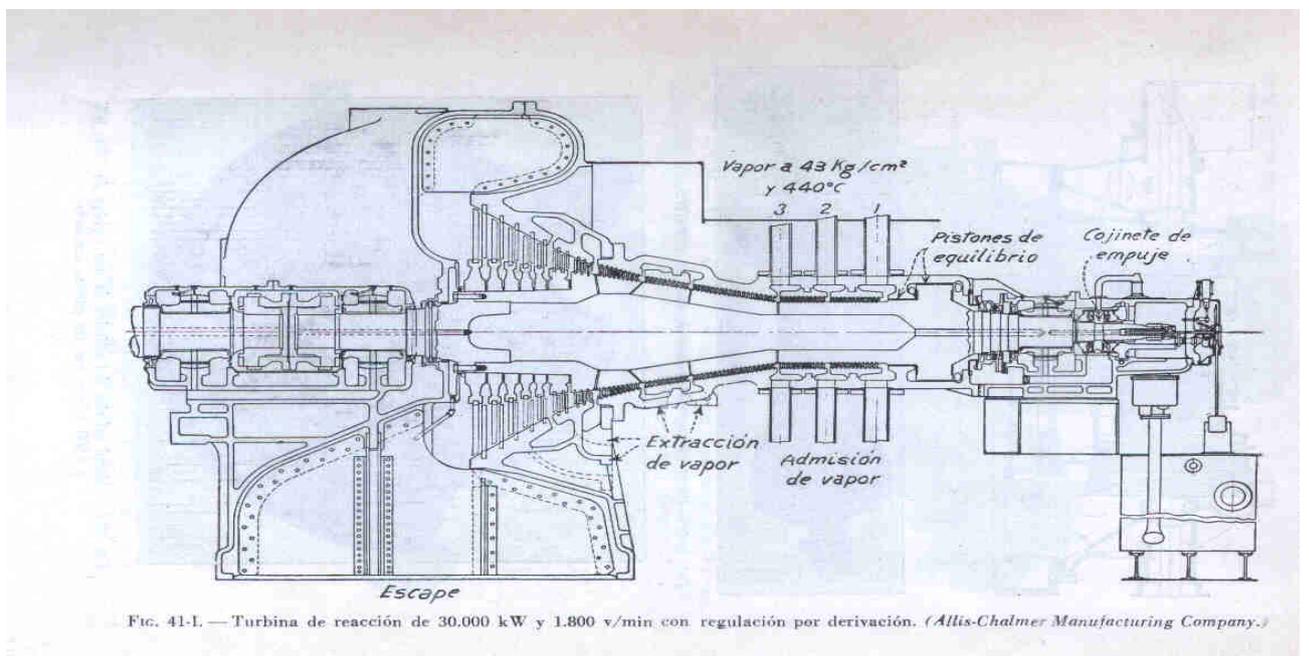


Foto N° 51 : Diagrama básico de lo que se conocería como la “turbina Parsons”, elemento que habría de cambiar la historia de la navegación mundial, ya que fue la primera aplicación que reunió bajo peso, bajo consumo, alta velocidad y performance respecto de la impulsión que los buques de finales del siglo XIX presentaban como característica común a todos ellos.-

En la *turbina de reacción o turbina de Parsons*, que fuera ampliamente utilizada en las postrimerías del siglo XIX y en los comienzos del siglo XX, muy especialmente en lo que a buques se refiriese, la presión del vapor disminuía a medida que se expandía por las paletas móviles, como así también, cuando atravesaba las toberas fijas.

En la actualidad se han estudiado las ventajas que ello reporta, obteniéndose de este modo una turbina de forma radicalmente distinta, como se muestra en las fotos nombradas como Fotos Nros. **48** y **52**.

Foto N° 51: Esquema de una turbina de reacción de potencia 30000 Kw, de velocidad 1800 revoluciones por minuto (r.p.m.), la cuál presenta regulación por derivación. Esta es lo que se conoce como una “típica” turbina Allis – Chalmer.-



En el caso de la Foto Nro. **52**, se debe hacer constar que las paletas están dispuestas en forma de coronas sobre la superficie de un rotor cónico, como así también, que no hay ruedas.

Como comentario adicional para este tipo de turbinas, digamos que a medida que el vapor fluye hacia la izquierda, a partir del lugar por donde ingresa a la turbina, se expande, y, en consecuencia, la altura de las paletas móviles, como la de las paletas fijas del estator o carcaza, debe ir aumentando.

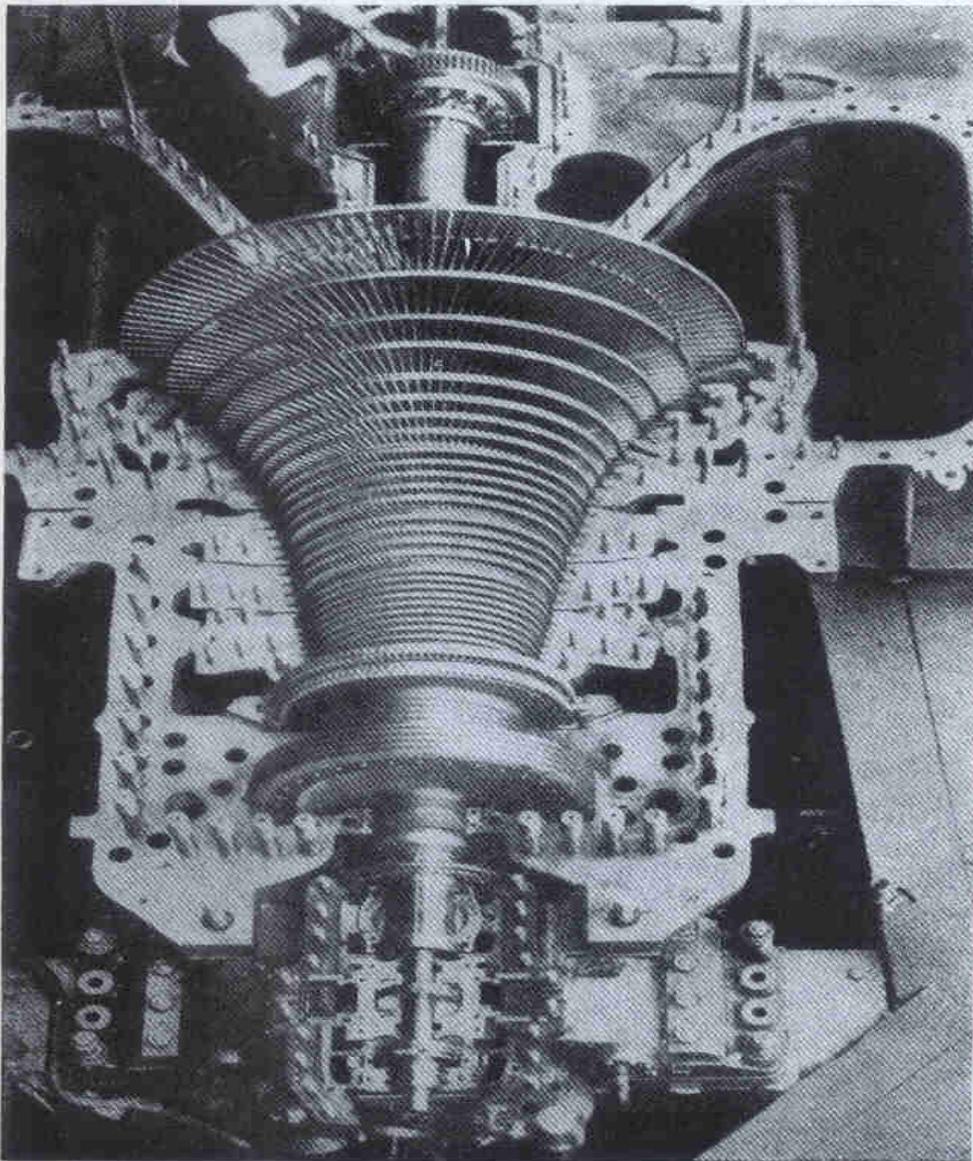


FIG. 47-I.—Turbina de rotor cilíndrico de 30.000 kW a 3.600 v/min que funciona con vapor de 58 kg/cm² y 480°C y con un vacío en el condensador de 723,5 mm Hg. (Westinghouse Electric Corporation).

Foto N° 52 : Turbina de rotor cilíndrico, de potencia 30000 Kw, velocidad 3600 r.p.m., accionada por vapor a presión 58 Kgs/cm², a temperatura 480° C, con vacío en su condensador equivalente a 723,5 mm de mercurio (Hg) .-

A ciertos intervalos, es necesario aumentar, también de manera análoga, el diámetro del tambor de la carcaza para disponer de la suficiente sección y permitir que fluya ese mayor volumen de vapor, ya que de otro modo las alturas de las paletas resultarían excesivamente grandes.

Ahora bien, y yendo al tema que nos ocupa, esto es, lo referido al RMS “Titanic”, y a sus dos “hermanos”, el RMS “Olympic” y el HMHS “Britannic”, podemos, en función de lo expresado técnicamente, observar que la decisión de incorporar una turbina de baja presión del tipo mencionado ya como “turbina de Parsons”, en los nuevos navíos de la clase “Olympic” - - esto es, los tres mastodontes antes indicados -- , marca un fundamental punto de partida en lo que respecta a la actitud de la línea naviera propietaria de los mismos, es decir, la White Star Line , en lo atinente al uso del sistema convencional de máquinas recíprocas basadas en el accionamiento de dos pistones, los que habrían de dirigir los movimientos de dos hélices. Este cambio se realizó (y todas las posteriores consideraciones técnicas así lo sugieren) siguiendo los resultados de una mejorada eficiencia y performance que se notan , a partir de la instalación de una turbina de baja presión que tomaba el vapor proveniente de los motores recíproco, en uno de los buques de la misma WSL, esto es, el denominado “**Laurentic**”, del año **1909** . Recordemos que el “Laurentic” fuera botado durante el año mencionado anteriormente, para luego de años de actividad como carguero, ser comisionado por orden del Almirantazgo Británico como crucero mercante armado, en **1914**. Sin embargo, aunque sobrevivió unos cuantos años a las peripecias de la 1ra. Guerra Mundial, en 1917 tuvo la mala fortuna de ingresar a un campo minado y posteriormente, hundirse frente a las costas de Lough Swilly, con el trágico saldo de 350 muertes. Cabe acotar que el “Laurentic”, en ese su último viaje rumbo a New York, transportaba una cifra varias veces millonaria en oro en el interior de sus bodegas, oro que más tarde fue rescatado.

Hay que hacer el comentario obligado que el sistema convencional había sido ya empleado en los buques de la clase “**Celtic**”, en servicio entre los años 1901 a 1907, produciendo el mismo una velocidad de servicio moderada y constante, de unos dieciséis (**16**) nudos, algo así como unos **29,7 kms.** en la hora, que, al mismo tiempo, se combinaba con una gran economía, debido a que cada barco quemaba no más de unas 280 tonela-//

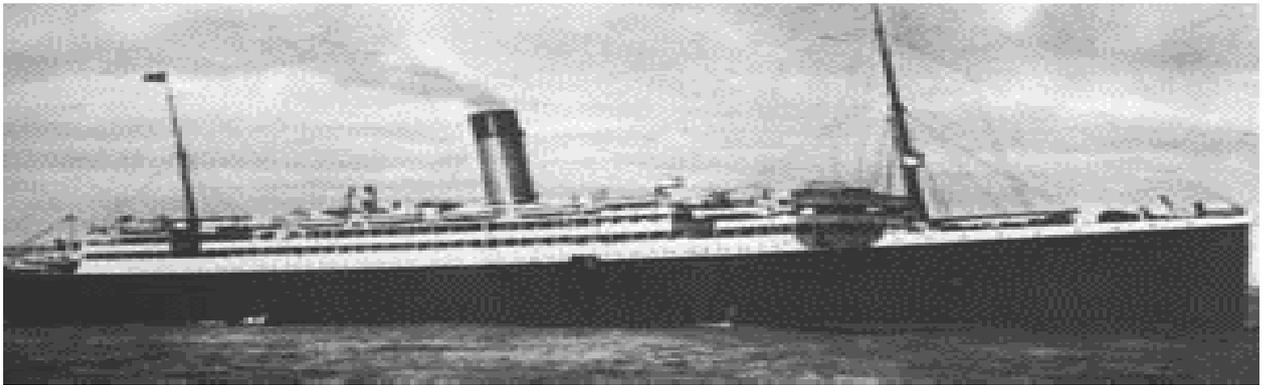


Foto N° 53: Fotografía del buque de la White Star Line , el “Laurentic”, que fuera botado en el año 1909 y hundido, debido a un choque contra una mina submarina en el año 1917 .-

/--das de carbón cada día, aunque sé perfectamente bien que la cifra puede parecer grande: no nos olvidemos que había más recursos que hoy y que hasta esos días, el combustible empleado por excelencia era, justamente, el carbón de piedra, no utilizándose todavía los combustibles líquidos.

Ahora bien, de acuerdo a los planes de construcción que se habían pergeñado, destinados a hacer del “**Baltic II**” (año 1904) el navío de mayor longitud del mundo (hasta aquellos ya lejanos días....) , se hubo de presentar un leve problema, el cuál consistía en mantener su esquema de diseño original con la misma potencia proyectada . Es así, que las maquinarias fueron subsecuentemente modificadas de acuerdo a obtener una potencia de salida mucho mayor. Si quisiera tratar de dar una idea al posible lector de este segundo trabajo de investigación, en cuanto al problema del diseño de motores en función de la obtención de una potencia dada o mayor que la estipulada, me tendría que aventurar a explicar, analizar y poner en consideración factores tales como tamaño de pistones y de cámaras, longitudes de bielas, tamaño de los muñones, rendimiento volumétrico, rendimiento en el eje de salida, potencia entregada, potencia a la salida, y un largo etcétera que lo único que haría es distraerlo del planteo de estas líneas: lo que nos tiene que importar es que los diseñadores se encuentran con una necesaria modificación de

ciertos parámetros de rendimiento, velocidad y potencia en las maquinarias a proveer en el buque en cuestión.

Aunque la elección de tales motores había producido excelentes resultados en los buques que se hubieron de mencionar, la **potencia** requerida para movilizar barcos del tamaño y dimensiones de los pertenecientes a la clase “**Olympic**” (entre los que figuraba el RMS “**Titanic**”), a una velocidad de unos **21** nudos en la hora (aproximadamente unos **39 kms./hr.**), y en cualquier clima, habría de ser, evidentemente, mucho mayor, con lo que, sin miedo a exagerar, hubiera llevado el sistema hasta sus límites, lo que no es de ningún modo, aconsejable en ninguna maquinaria y/o motor. Es por ello, que la performance mejorada del “Laurentic”, la cuál se manifiesta en función de la anexión de una turbina de baja presión convenció a las autoridades de la White Star Line de adoptar el método combinado de propulsión en los nuevos navíos que el astillero Harland & Wolff (Belfast, Irlanda) habría de construir en los primeros años del siglo XX.



Foto N° 54: En su lugar de hundimiento, podemos observar una típica hélice de propulsión de las utilizadas en los navíos de la clase “Olympic”, entre ellos, el RMS “Titanic” .-

Por ello, los que hayan visto la película “Titanic” (1996) de James Cameron podrán traer ahora, a sus memorias, el momento de la zarpada del buque de la WSL, del puerto de Southampton, el día 10 de Abril de 1912, al mediodía, en la que se muestra el instante en que se ponen a girar las hélices . Recordemos que el RMS “Titanic” estaba dotado de dos (2) hélices laterales y una (1) central . Siguiendo, digamos que los dos motores a vapor invertidos y recíprocos, de acción directa y triple expansión, que desarrollaban una potencia de diseño de unos **quince mil (15000)** caballos vapor (Horse Power, caballos vapor en idioma inglés, iniciales **HP**) a una velocidad de rotación de **setenta y cinco (75)** revoluciones por minuto (**r.p.m.**) , habrían de hacer girar los ejes laterales de propulsión , junto a los **veintitrés (23)** pies más las **seis (6)** pulgadas (unos **7,75 mts.**) de diámetro de ambas hélices, izquierda y derecha, mientras que la turbina de baja presión (obviamente, una turbina Parsons) alimentada por el vapor residual proveniente de los motores principales, habría de producir una potencia de **dieciséis mil (16000)** H.P., a unas **ciento sesenta y cinco (165)** r.p.m., la cuál se encargaría de mover la hélice central , cuyas dimensiones eran **dieciséis (16)** pies y cuatro (**4**) pulgadas (unos **5,40 mts.**). Lo que se dice “un barco de modestas dimensiones” La grandiosidad de estas hélices se puede observar, tomando nuevamente en consideración la película de Cameron, la escena en que un hombre, al momento en que la proa se pone casi vertical, salta o cae, desde la zona de popa, golpeando con su cuerpo contra una de ellas , pero no de lleno, sino casi contra su borde , magnificándose así el tamaño de las mismas . Y aunque pudiera parecer casi irreal que semejante “pedazo de barco” se haya movido, es de constancia histórica, que, durante las respectivas pruebas, los motores del RMS “Olympic” se desempeñaron (como suave...) de manera soberbia, y aunque (según la publicidad de su época) hubiesen sido diseñados para ofrecer una potencia usual de **cuarenta y seis mil (46000)** H.P., en realidad dichos ingenios mecánicos fueron preparados para dar **cincuenta mil (50000)** H.P. .¿ Te doy un poquito más?. Según el Ingeniero **Alexander Fleming**, el precursor del diseño y construcción de los buques de la clase “Olympic” , antes de Thomas Andrews, estas maquinarias podían llegar a ofrecer hasta **cincuenta y nueve mil (59000)** H.P. en el eje propulsor , trabajando a unas **ochenta y tres (83)** r.p.m. con la turbina a toda potencia: en definitiva, “poco, casi

nada...” .Pero, de todos modos y para hablar con más exactitud, digamos que las revoluciones totales por minuto eran **setenta y ocho (78)**.

Así y todo, lo anterior sería algo contradictorio con los dichos expresados por el Gerente sobreviviente del naufragio, Mr. **Bruce J. Ismay**, al momento de brindar su testimonio ante las Investigaciones que se efectuaron con motivo del hundimiento del coloso de la White Star Line, ya que, en sus propias palabras, los motores poseían una velocidad completa (normal y específica) de **78 r.p.m.**, pudiendo trabajar hasta un rango de **80 r.p.m.** Sin embargo, la opinión de Ismay se podría, sin ningún tipo de temor, poner en duda, ya que él era un Director de la empresa, y aunque toda la información pasaba también por sus manos, no era obligación el estar familiarizado con las aptitudes técnicas propiamente dichas del RMS “Titanic”, sino más bien con los aspectos organizativos de la construcción de los buques de la clase “Olympic”, de lo que se desprende que la opinión del **Ingeniero Jefe** (más familiarizado con este tipo de datos técnicos) merece un poco más de fiabilidad.

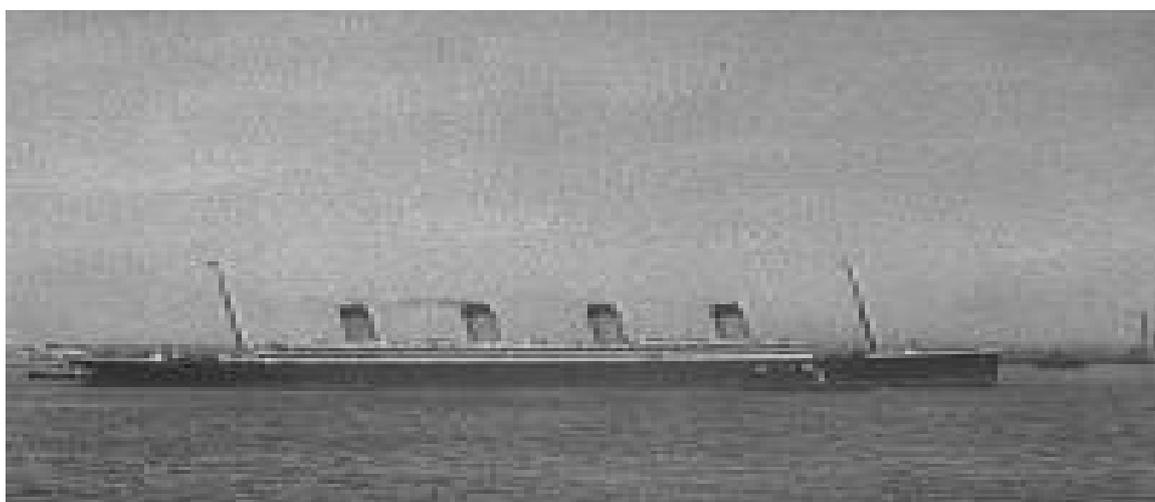


Foto N° 54 : Soberbia fotografía en la que se muestra una vista del RMS “Olympic”, en sus gloriosos días de navegación por los mares del mundo .-

Dejando de lado estas disquisiciones, con el paso del tiempo se advirtió la economía resultante de la combinación en la implementación de la maquinaria utilizada . Es así que, durante su viaje inaugural, el RMS “Olympic” consumió unas **620** toneladas de carbón por día, con no más del **90 %** de los hornos funcionando, comparadas con las **720** toneladas previstas de ser quemadas, lo que permitió llevar el barco a una velocidad de **21,7** nudos en la hora (unos **40, 3** kms./hr.) por el término de cuatro (4) días, incluso habiendo hallado en su recorrido clima adverso y fuerte viento , esto para el día del 17 de Junio de 1911, sin mencionar el hecho que se desplazaba a contra corriente . Al arribar al puerto de New York los pasajeros se manifestaron unánimes en destacar el orgullo que sentían por el buque en sí mismo, declarando (en la mayoría de los casos) que era un lujoso hotel, siendo difícil imaginar que semejante estructura naval estuviera a flote, con la mención adicional de que la vibración que se podía percibir era más bien escasa. Lo anterior era lógico, ya que los motores recíprocos giraban en direcciones opuestas y en definitiva, esto era lo que ayudaba a prevenir la vibración; sin embargo, es necesario indicar que la primera causa de la vibración se centra en los ejes, más que en los motores mismos.

No obstante, aunque el agregado de la turbina hubo de permitir que esa performance sea posible, dando un mayor y amplio incremento de poder, con el mismo consumo de combustible, también (como en tantas otras cosas....) habría de ser el paso del tiempo el que probaría que la turbina (aunque en un inicial estado de desarrollo, puesta a punto y mejoramiento, a pesar de su utilización , por esos días, cada vez más frecuente) fue dispuesta para un trabajo excesivo . Y lógicamente, no se pudo ver lo expresado anteriormente en el RMS “Titanic”, ya que el buque prácticamente no fue ni siquiera (en lo que se refiera al estudio de sus cualidades y performances técnicas) probado . Pero, por aquellos días, una de las cosas importantes en lo que al mejoramiento de los buques atañe, era que la nueva tecnología iba siendo incorporada a más y más navíos, con excelentes y prometedores resultados, desarrollándose la turbina junto con los barcos que la iban incorporando, a pesar de seguir (todavía...) testeándose los motores recíprocos. Y es por ello, que una vez acaecida la tragedia del “Titanic”, se procede a un reequipamiento del RMS “Olympic” , a finales del año **1912** y comienzos del año **1913**.

162

Tal es así, que al retornar al servicio activo, en el transcurso de dicho año 1913, el “British Board of Trade”, se percató que había que ejercer una discreta (pero eficaz...) vigilancia sobre la turbina, ubicándola en una especie de “Lista Confidencial”, de tal manera que, obligatoriamente, ciertas partes de la mencionada turbina fueran sometidas periódicamente a revisiones y chequeos : obviamente, las paletas y demás elementos constituyentes habrían de ser los que serían sometidos a estudios.

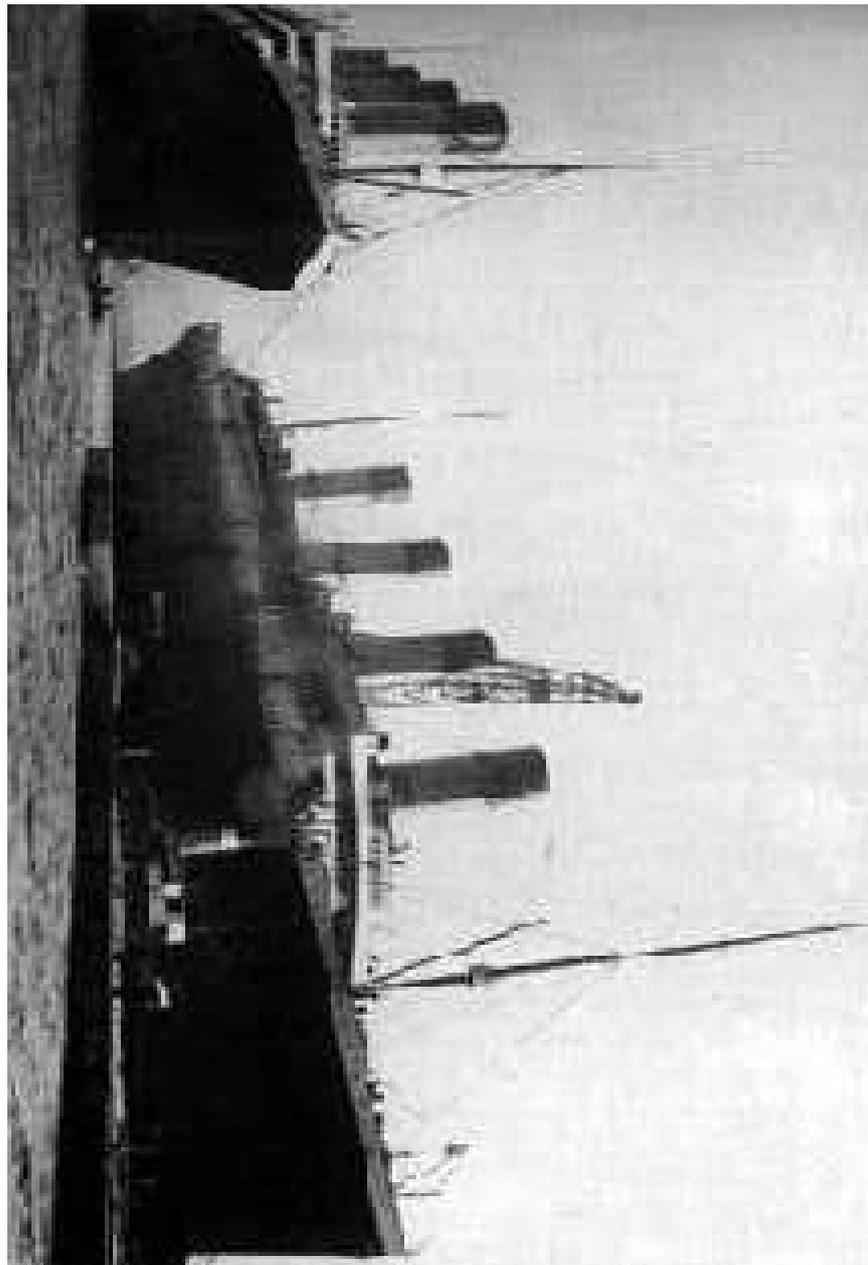


Foto N° 55 : En esta vista, vemos a los dos buques orgullo de la WSL, el RMS “Olympic” y el RMS “Titanic” .-

De todos modos, la performance del “Olympic” era todavía sumamente satisfactoria y antes del comienzo de la Primera Guerra Mundial (1914) , este buque mantenía una velocidad de más de **24** nudos en la hora (**44, 4** kms./hr.) a lo largo de más de un día, generalmente en dirección Este, es decir, rumbo a América. Pero, una vez estallada la guerra, la turbina Parsons fue sometida a reparaciones, debido al deterioro que su utilización constante le produjo. Una vez que se concluyó con el reequipamiento posterior al conflicto bélico, realizados los trabajos correspondientes, el Supervisor que tuvo a su cargo las tareas de chequear el estado de las reparaciones indicó, con fecha del **11 de Junio** del año **1920**, que la turbina había sido *“abierta, inspeccionada y reparada para mi satisfacción”*.

Asimismo, cabría la posibilidad de que el material original hubiera sido afectado por un fenómeno conocido como **“creep”** (en inglés : arrastrarse, resbalarse, moverse hacia fuera), que hace que el material se deforme con el paso del tiempo , debido a que la temperatura de fusión del material (que tiene una directa relación con la temperatura de activación del indicado fenómeno de “creep”) puede haber sido bastante baja en la aleación como para que ocurra el “creep” .

Si quisiéramos ser más exactos, podemos indicar que las primera y segunda fajas de todas las paletas del rotor fueron reemplazadas con un nuevo compuesto de bronce, en el cuál las proporciones estaban en el orden de **70% Cobre (Cu)** y un **30% de Zinc (Zn)**, lo cuál significó un mejoramiento en la composición del originalmente llamado (y empleado) “bronce suave ordinario” (en inglés : ordinary soft brass) .

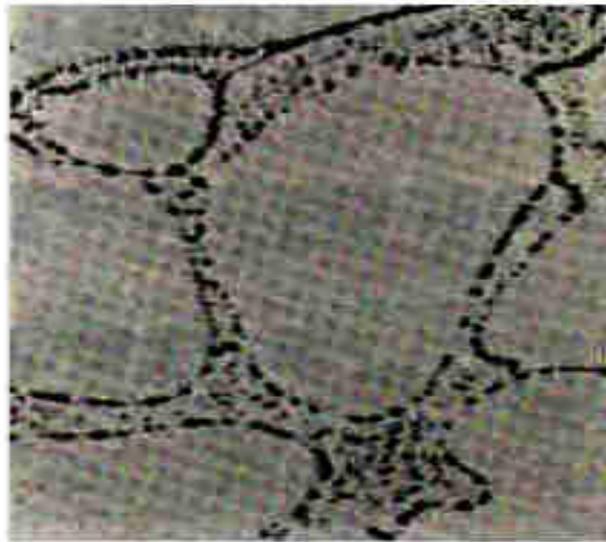
Veamos ahora este aspecto de las llamadas “aleaciones” empleadas en la fabricación de ciertas piezas que los buques utilizan, como ser, las **hélices** de un buque. Básicamente, una **“aleación”** es una sustancia con propiedades metálicas y que está compuesta por dos o más elementos químicos, de los cuáles por lo menos uno es un metal elemental. Asimismo, como se podrá suponer, la definición tiene varias acepciones, dentro de lo que se conocería como definición, en sí misma. Podemos así decir que una **aleación binaria** es aquella que contiene dos elementos componentes , como así también que una **aleación ternaria** es la que posee en su composición tres elementos componentes. Pero a decir verdad,

es raro (aunque no imposible, a esta altura del siglo XXI....) encontrar aleaciones que presenten dos, a lo sumo tres elementos constitutivos, sino más bien, las aleaciones utilizadas actualmente en cualquier aspecto de la industria poseen varios elementos químicos (metales y/o metaloides) que poseen (por sí solos y en conjunto) propiedades que sirven a un determinado futuro y posterior uso y/o aplicación .

Y uno de los metales más utilizados en el mundo, debido a sus excelentes cualidades , es el **Cobre (Cu)** .Existen diversos minerales que se utilizan para la **obtención** del cobre, pero los más importantes son la calcopirita ($S_2Cu - Fe$), el cobre sulfuroso (Scu_2) y el óxido rojo (Ocu_2) . Los métodos de obtención del Cu comprenden diversas etapas , de forma tal que por medios mecánicos y químicos se obtiene, en primera instancia, un cobre bruto porque está acompañado de diversas impurezas tales como hierro (Fe),plomo (Pb), Zn (cinc) y estaño (Sn) . Así, la etapa posterior es la **refinación** , en la cuál se eliminan en cierto grado las impurezas, obteniendo Cu con reducida cantidad de ellas , pudiéndose tener, de manera electrolítica, un cobre con pureza del 99,9 % .

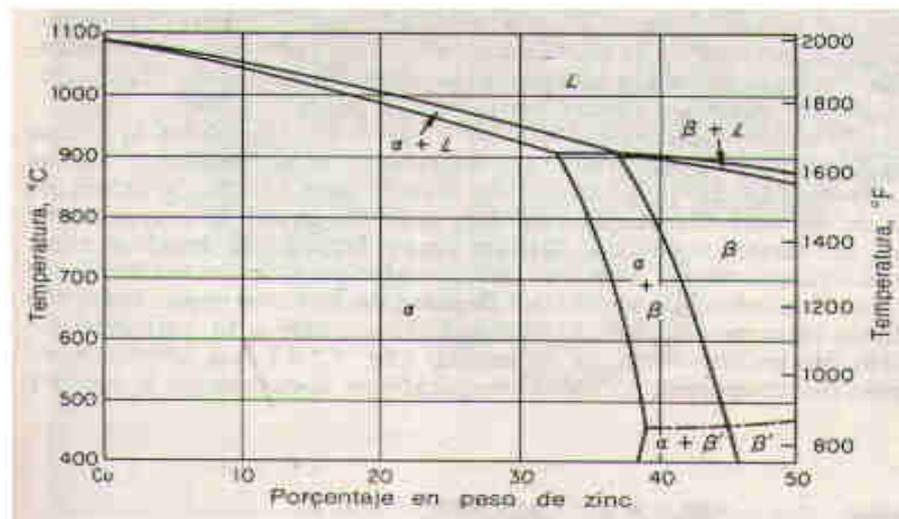
Entre las propiedades del cobre , podemos decir que es uno de los elementos denominados “pesados” y en estado puro tiene una densidad de **8,9 kg./dm.3**,aunque el cobre conocido como “comercial” posee una densidad algo inferior, aproximadamente de 8,5 kg./dm.3 .Asimismo, el cobre pertenece a los metales de alto punto de fusión, lo que dá lugar a que esté sujeto a la acción de los gases provenientes de la atmósfera de los hornos de fusión ,siendo el mencionado punto de fusión de **1083 °C** y el punto de ebullición es de **2325 °C**, mientras que el calor latente de fusión (calor de cambio de estado) es de **43,3 Kcal./Kg**. En estado fundido (sin tratamiento) el cobre posee una resistencia a la tracción de aproximadamente **15 a 17 Kg./mm.2** ,con un alargamiento de **40 al 50 %** y una dureza **Brinell** de **30 a 40** .La resistencia mecánica del cobre se incrementa por vía del trabajo mecánico sobre el material, de tal modo que trefilándolo o por cualquier otro procedimiento de trabajo mecánico se puede elevar la resistencia a la tracción hasta los **30 kg./mm2**.

Foto N° 56: Microfotografía en la que observamos el eutéctico cobre - óxido en cobre electrolítico fundido . La muestra ha sido atacada en forma química con dicromato de sodio, siendo el aumento visual de 50 unidades. La microfotografía fue proporcionada por la compañía Revere Copper y Brass, extrayéndose la misma desde el libro de Sydney Avner “Introducción a la Metalurgia Física”, edición del año 1979 .-



Volviendo a lo que respecta de los elementos constitutivos de la turbina Parsons, parte de la maquinaria que componía los buques RMS “Olympic”, RMS “Titanic” y HMHS “Britannic” , podríamos decir que ,a la distancia y en el tiempo, es difícil establecer el momento en que ocurrió este fenómeno, pero también se podría inferir que éste sucedió realmente . Partimos de la base que indica que las aleaciones de bronce tienen una composición **Cu/Zn** que varía entre concentraciones que van desde un **90% Cu/10 % Zn** hasta un **55%Cu/45 % Zn** , mientras que el rango de temperaturas de activación del “creep” está en el orden de los **200 °C** hasta

Foto N° 57 : En este diagrama , observamos de porcentaje en peso de zinc (Zn) , respecto de temperaturas °C y °F. En realidad, también se podría definir como la porción rica en cobre (Cu) del diagrama de fase Cu/Zn . Este esquema ha sido extraída del libro “Metals Handbook”, edición 1948, de la American Society for Metals, presente en el mencionado libro de Avner .-



los **262 °C** .; sumado a lo anterior, tenemos que una turbina de las del tipo Parsons puede trabajar con presiones que toman valores de **nueve (9) libras por pulgada cuadrada** (esto sería, unos **0,63 kgs./cm².**) a la entrada de la misma . Teniendo en cuenta estos parámetros indicados anteriormente, sí podemos inferir que la temperatura podría haber sido lo suficientemente alta como para activar el “creep”, especialmente si la aleación original presentaba una más alta concentración del cinc. Ahora bien, el nuevo material con el que se diseñan los elementos antes mencio--

/--nados, que son en definitiva partes componentes de la turbina, tenía mejoras en sus propiedades , merced a su distinta composición : el cobre (Cu) con su alto punto de fusión y resistencia a la corrosión, y el cinc (Zn), presumiblemente en una cantidad menor a la empleada en la antigua composición, con su capa de óxido que brinda resistencia a la corrosión, pero poseyendo un menor punto de fundición, eran comúnmente utilizados como una aleación, pero fue la composición mejorada del nuevo material el que predominó sobre la precedente .

Es correcto mencionar que todo el paleteado de la turbina fue examinado y testeado, luego de lo cuál las partes defectuosas fueron cortadas, separadas, al mismo tiempo que se instalaron nuevas . Tanto la cubierta interna como partes del motor fueron descascaradas, removidas, limpiadas y luego recubiertas con un compuesto denominado “A Pexior”, que es una pintura no corrosiva .A continuación se efectuaron pruebas sobre la turbina, las que tuvieron lugar en la bahía de Belfast (Irlanda), observándose que este elemento mecánico trabajó bajo todas las condiciones y que las mencionadas pruebas fueron totalmente satisfactorias , a pesar de algunos leves problemas en los engranajes.

Hubo también otra mejora introducida en la planta de propulsión del buque, y ésta fue la conversión de la alimentación de carbón a la de combustible líquido .Una vez concretada esta nueva “adquisición” . la performance del RMS “Olympic” fue alta, aunque no más alta que la conseguida antes de la Primera Guerra Mundial. En varias ocasiones, durante la década iniciada en el año 1920, numerosos viajes desde y hacia Inglaterra, se realizaron a una velocidad de **23 nudos por hora** (unos **42,7 kms./hr.**) e incluso después de veinte (20) años de servicio, igualó su récord de **24 nudos/hr. (44,5 kms./hr.)**, mientras que su velocidad promedio estaba en el orden de los **22,5 nudos por hora** (unos **41,8 kms./hr.**).

Además, sus motores recíprocos fueron sometidos a desarme y reparación durante su reequipamiento, efectuado éste nuevamente en 1932/33, pero sólo por necesidad se hubo de realizar luego de veintiún (21) años de carrera y un millón y cuarto de millas marinas recorridas (esto sería unos dos millones trescientos quince mil kilómetros) : lo anterior sumaría unas

doscientos cincuenta y cinco (**255**) millones de revoluciones, adoptando una velocidad de **22** nudos por hora (**40,8** kms./hr.) .

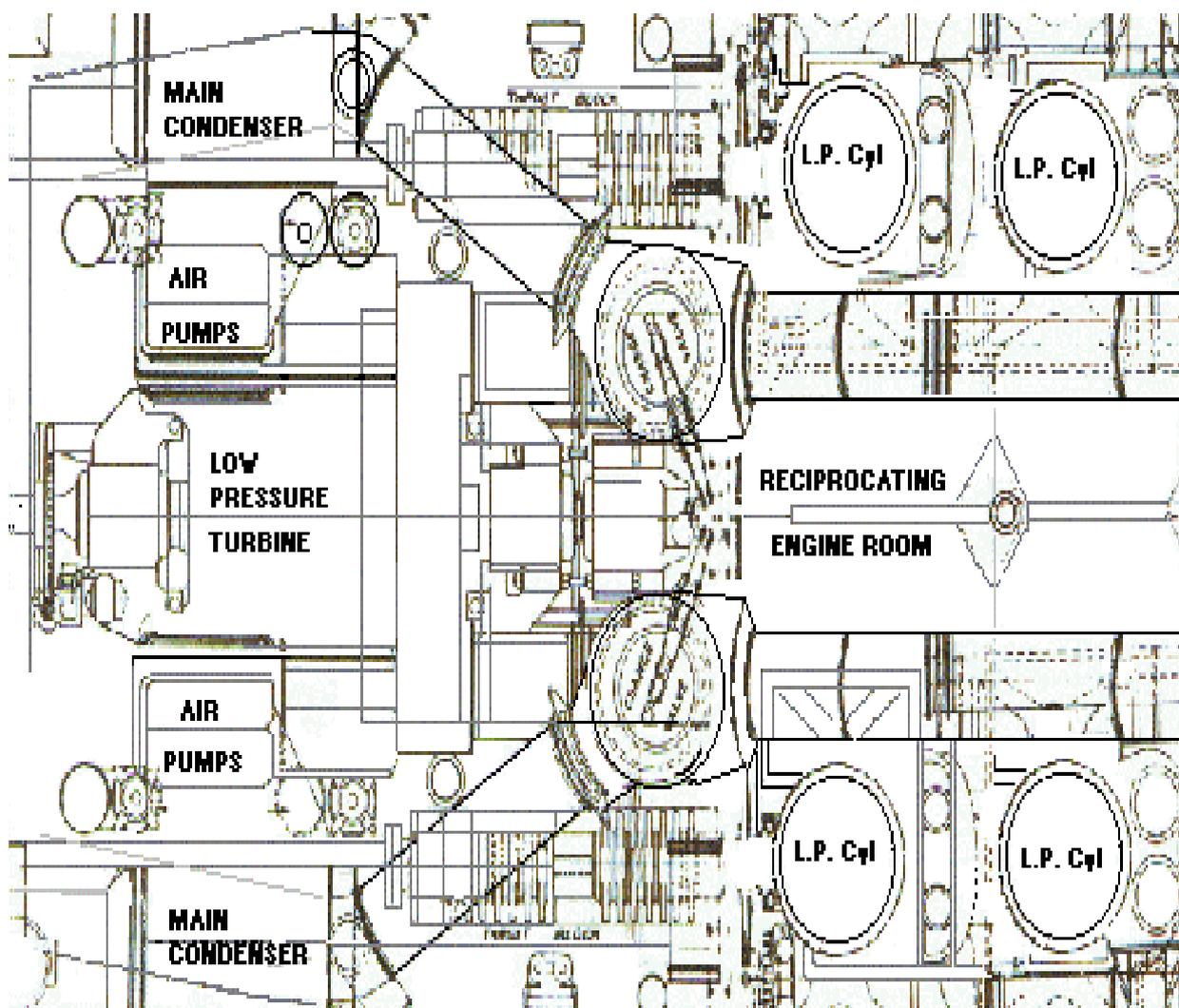


Foto N° 58 : Un esquema de la maquinaria presente en el interior del RMS “Titanic” .
Bastante completa, por cierto

En definitiva, su performance nos dá una idea de su calidad como buque. Más allá del año 1933, el RMS “Olympic” se comportó muy bien, y a pesar del efecto de “picado”, las completas y cuidadosas inspecciones de sus motores y sus partes principales (asientos, bielas, etc.) a lo largo de los dos (2) años siguientes, demostraron que no había problemas . A mediados del mismo año 1933, los motores fueron probados a **76 r.p.m.**, permitiéndole al navío lograr una velocidad promedio de **21,5** nudos/hr. (**40** kms./hr.) a pesar del hecho de que el clima sobre el Atlántico no se

presentaba tan bien como se había esperado; este inconveniente hizo que el viaje tardara un lapso de cinco (5) días y quince (15) horas. El “Board of Trade” británico se vió favorablemente impresionado con esta mejora e incluso en su último viaje, en Octubre de 1935, con destino al desguace, su Ingeniero Jefe mencionó que los motores estaban más firmes que cuando fueron instalados en el año 1911.

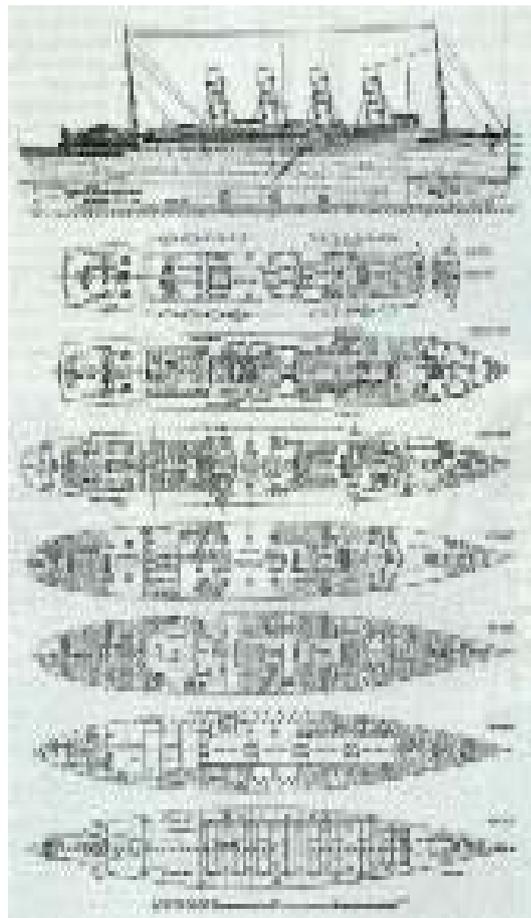


Foto N° 59 : Esquema de los planos de uno de los buques más grandes construídos, que fuera hundido en el transcurso del año 1915, por un submarino alemán : el “Lusitania”, barco perteneciente a la compañía Cunard Line .-

Como corolario, digamos que la experiencia y habilidad del personal de los astilleros Harland & Wolff, de sus diseñadores como así también del alto nivel de manufactura y fabricación, aseguraron un sistema firme y sólido de proporción, que logró casi la misma economía en el uso del combustible por H.P. por hora que la conseguida por los navíos de la clase del “Lusitania”, pertenecientes a la Cunard Line, la competidora de la White Star Line . Aunque los motores desarrollaban un máximo de **59000 H.P.** en el eje de propulsión , comparado con los **75000 H.P.** del “Lusitania”, los costos operativos fueron algo menores. Mientras el “Mauretania” consumió cerca de **850** toneladas de carbón por día, el “Olympic” hubo de utilizar bastante menos, unas **620** toneladas, especialmente algo a tener en cuenta ya que había que considerar su desplazamiento más grande y la superficie de su casco.

A pesar de todas las críticas que se generaron una vez que se fueron reemplazando las combinaciones motores /turbinas por equipamientos sólo constituídos por turbinas, no se puede negar que el sistema de propulsión con el que se equipó el RMS “Titanic”, enteramente diseñados para este tipo de buques de dimensiones gigantescas, fue una soberbia pieza de Ingeniería y que, en un navío como hubo de ser el RMS “Olympic”, un exitoso barco de línea, cumplió cabalmente el cometido para el que fuera fabricado .

Con las anteriores consideraciones planteadas, que espero hayan dado un somero panorama de detalles no habituales para aquellos que desconocen estos temas técnicos, nos quedaría hacer una pequeña descripción de la **operatoria de la maquinaria del RMS “Titanic”** . Intentaré, como anteriormente, efectuar las explicaciones de la manera más accesible para todos, aunque en algunos casos la nomenclatura técnica no podrá ser soslayada. Como es evidente, para que este tipo de máquinas a vapor funcionara , se necesitaba una alta producción del elemento **vapor**. Asimismo, a bordo del RMS “Titanic”, el **carbón** era el combustible utilizado, el cuál era introducido por los fogoneros mediante palas dentro de los **hornos** de las respectivas **calderas**: para quién quiera recordar la forma de una caldera, se puede remitir a mi primer trabajo de investigación

y/o a cualquier libro de los existentes en bibliotecas, etc. Pero básicamente, hasta la podríamos definir como una “caja de acero” que poseía **dos (2) puertas** sobre el sector inferior de la parte frontal: la **superior** es la que daba acceso directamente al fuego, mientras que la **inferior** es la que acceso a las cenizas de la combustión . Ambas puertas daban acceso a un espacio (o “tubo”) largo y de amplias dimensiones, el cuál poseía en su mitad una parrilla de hierro, sobre la cuál ardía el carbón, con la consecuente producción de calor por medio del fuego .Esta parrilla no era tan larga como ese “tubo”, sino que era más corta y terminaba en una pantalla de acero, de modo de prevenir que el carbón en llamas cayera dentro de la sección en la cuál se recogían las cenizas de este espacio, también llamado “tubo de llamas”, “**tubo de fuegos**” o “**caja de fuegos**” . Por el lado opuesto de esta caja de fuegos ingresaba aire fresco, merced a una pequeña abertura situada en dicho lugar, denominado “**aire secundario**”, mientras que el “**aire primario**” entraba aire a través de una portilla (o par de portillas) cercanas a la puerta de las cenizas localizada en la parte frontal .Ambas entradas de aire podían ser ajustadas manualmente. Una vez que se iba quemando el carbón, éste producía **humo** (que obviamente iba acompañado de aire caliente), el cuál se dirigía hacia otra parte de la caldera, en la cuál se hallaban los **tubos de humo**, que resultaban ser tubos cilíndricos , los que a menudo estaban agrupados y fijados a soportes en las paredes de la misma caldera. Muchas veces también se añadía (a la cámara de combustión) una **unidad de sobrecalentamiento** .Una vez que el humo había pasado por esta sección, se dirigían hacia lo que se conocía como la “**caja de humos**” o en su defecto, hacia otra cámara de combustión .

En las calderas de tres etapas, la cámara de combustión adicional hacía cambiar de dirección nuevamente al humo y al aire caliente, usando otros tubos, introduciéndolos de vuelta dentro de la caja de humos. Las calderas de dos pasos no poseían este aditamento, lo que hacía que en la caja de humos, por arriba del canal de extracción, fuera colocado un tubo de chimenea o “chimenea” . También , muy comúnmente, se hallaba aquí la entrada de los tubos de sobrecalentamiento, del mismo modo que se podía localizar una **unidad de precalentamiento de agua** .Este añadido es muy

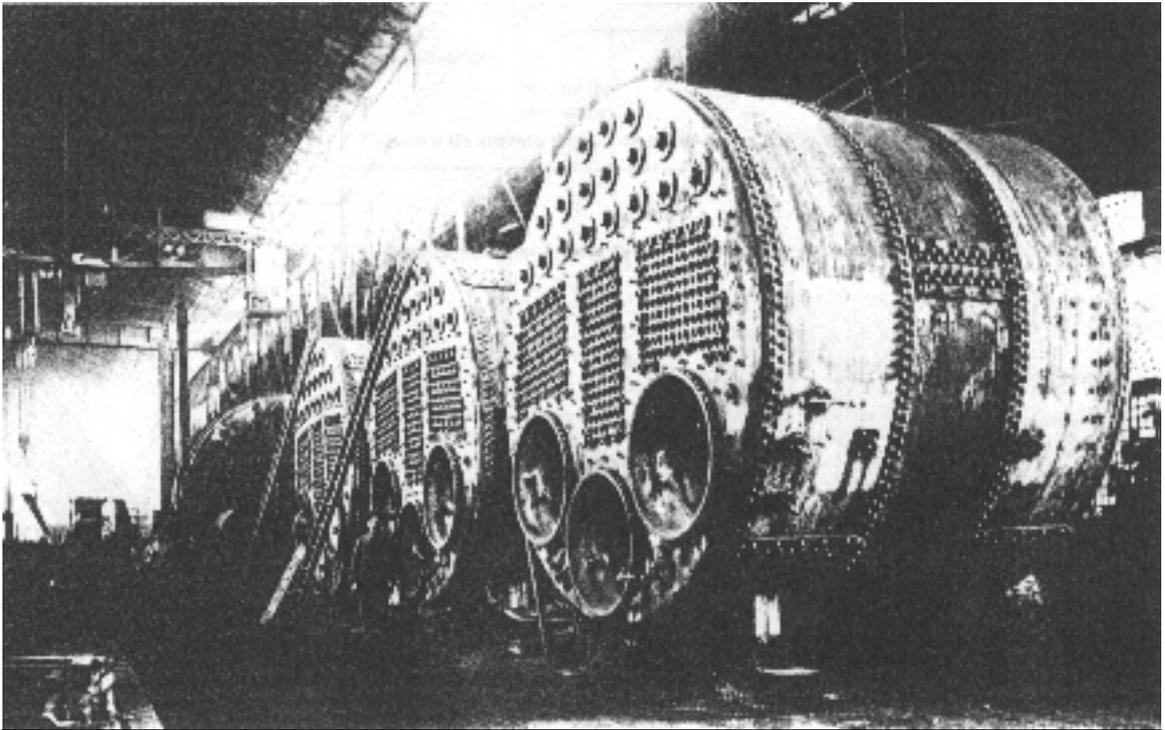


Foto N° 60: Una fotografía de las viejas calderas “Ansaldo”, comúnmente utilizadas en navíos de gran porte, que requiriesen una gran producción de vapor, para el logro de una aceptable potencia .-

importante en los sistemas de calderas, ya que el precalentamiento de agua no se hace porque sí, sino que tiene sus motivos : a causa que el agua fría puede llegar a ocasionar problemas metálicos en los constituyentes de las calderas, se descubrió que el precalentamiento del agua hace que el rendimiento de caldera sea más efectivo , a la vez que se logra una significativa economía en el consumo del carbón .

Vamos así llegando a la parte sustancial . Hemos visto que la caldera (mejor dicho, las calderas) era alimentada manualmente con combustible carbón, y que el humo caliente que vá a través de los tubos calienta el agua circundante , de manera que ésta llegue a hervir, convirtiéndose en vapor . A causa de que las calderas estaban cerradas en sus partes superiores, esto hacía que la presión en las partes superiores de las mismas, impidiendo así que una cantidad adicional de agua se convirtiera en vapor, lo que a su vez hacía que la temperatura de dicho líquido se incrementara, liberara más vapor y que, finalmente, la presión comenzara a aumentar dentro de la misma caldera . Así , podríamos hallar que , en base a una medición de

dieciséis (16) kilogramos por centímetro cuadrado (16 Kgs/cm²), la temperatura del agua se encontrara cerca de los doscientos (200) grados Centígrados . Si se abría en ese momento la válvula, la presión decrecería rápidamente. Ahora bien, en función de prevenir los riesgos de explosión en las calderas, esto es, debido a una sobrepresión, estos instrumentos de calentamiento poseen **válvulas de seguridad** instaladas, las cuáles se abren automáticamente si la presión llega a valores que se consideren sumamente elevados, descargando el vapor al aire libre o por la chimenea . Estas válvulas de seguridad se accionaban mediante resortes, de manera de abrirse automáticamente una vez que la presión en la caldera estuviera cerca del rango máximo permitido o calculado .

Así, el vapor de la caldera es, en este estado, una sustancia neblinosa, aunque difícilmente utilizable en estas condiciones, ya que posee, en disolución, pequeñas gotas de agua, las que se adhieren a las paredes internas de cada tubo, lo que hace que el vapor, bajo estas circunstancias, no sea apto como para ser usado en las maquinarias . De tal modo, este vapor proveniente de la caldera era hecho pasar a través de una **válvula principal** ,conduciéndose éste más tarde hacia otros pequeños tubos, los cuáles, a su vez, se rodeaban nuevamente con humo y aire (ambos calientes) , de tal modo de “sobrecalentar” el vapor que se hallaba dentro de los mencionados tubos. Como incluso para un “aficionado “ a estos temas, se podrá ver que este aspecto de la Ingeniería se ha estudiado y profundizado en detalle, ya que el descubrimiento de la caldera, con sus correspondientes aplicaciones, ha cambiado por completo la vida de los seres humanos.....desde hace mucho tiempo ya. Para una muestra más doméstica de lo que hablamos, se pueden traer a colación un (1) ejemplo sobradamente explicativo de la generación de vapor. Éste sería la vieja, querida y nunca tan bien ponderada “cacerola” que está presente, desde el casi inicio de los tiempo, en la mayoría de los hogares de todas las culturas y pueblos del mundo. Cuando se pone agua, hasta un límite de su altura, a hervir, con una (digamos...) pedazo de carne u legumbre en su interior, lo que se hace es aplicar la cocción en húmedo de los alimentos. Ahora bien, veamos un fenómeno interesante, muy similar (aunque con sus lógicas diferencias...en tamaño y ubicación) que ocurre al momento de “romper el hervor”. Si el ama de casa (o el “amo de casa”...las cosas han cambiado

tanto que ya no se sabe quién es quién...) deja hervir el conjunto agua/alimento a un fuego “máximo”, con su correspondiente tapa **sin colocar**, éste seguirá incrementando la cantidad de vapor hasta elevar el nivel del agua, hasta hacerla rebalsar. Entonces ¿qué es lo que hace la persona que está cocinando?. Algo sumamente simple : “baja” el nivel de fuego, es decir, permite una menor salida de gas por el mechero (o “quemador”), con lo que (y quizás sin saberlo, también...) equilibrará la cantidad de vapor que se unirá al aire circundante con la producción de vapor dentro del recipiente y todo esto, debido a una menor provisión de **calor** . Ahora bien, si decidiera seguir calentando la mezcla a un valor de fuego “máximo”, pero con la tapa **colocada**, se llegará a un momento en que la misma no soportará la presión del vapor bajo su superficie, y pasarán dos cosas: si la tapa es de simple apoyo, se levantará y rebalsará el nivel de líquido; si es del tipo de ajuste, bueno.....sabrán luego que se evapore el total de agua lo que se experimenta al instante de que una caldera haga explosión o como decimos en Argentina”vuele”, a menos que posea una válvula de seguridad, la cuál dejará escapar el gas llegado un determinado valor de presión .

Siguiendo con la explicación, digamos que “**vapor sobrecalentado**” es la transformación del agua totalmente en **gas** . Bien se puede decir, a este estadio que el vapor se encuentra a la presión adecuada, y, proveniente de todas las calderas, ingresa a un **tubo colector** , de manera de llevar el mismo hasta la maquinaria .En este punto, se solían colocar otras válvulas secundarias (por lo menos una **válvula secundaria principal**) , de tal modo de cerrar el acceso de la maquinaria hacia las calderas, como así también se podían hallar “by- passes” (desvíos) destinados a ser activados en caso de trabajos de mantenimiento. Una vez, en este punto, el vapor ingresaba en el motor recíproco, haciendo mención que la manera de trabajar del vapor es completamente diferente del modo en que lo haría un motor que trabajara bajo la alimentación de combustibles tales como gasoil, fueloil u cualquiera otro .

Recordemos que un motor a vapor constaba (generalmente) de un par de cilindros por barco, con aberturas de entrada y descarga .El primero de ellos, generalmente más largo, pero con un cilindro más delgado, era el llamado **cilindro con válvula de pistón**, donde ingresaba directamente el

vapor proveniente de las calderas . Un par de válvulas, generalmente válvula de pistón , permitían entrar al vapor dentro del **pistón de vapor**, únicamente en una ocasión, desde su parte superior o inferior, mientras la otra válvula , al mismo tiempo, permitía que el vapor saliera desde el pistón de vapor con destino a la descarga o el tubo “compound” .

Las máquinas de vapor eran generalmente de **doble acción** (ver el primer trabajo de investigación, **Capítulo III**, la parte dedicada a “**La Revolución del Vapor y Su Aplicación**”). Hagamos la salvedad que, en los motores que trabajan con alimentación líquida, la combustión del combustible utilizado “empuja” hacia la parte inferior del cilindro al pistón, ya que la brusca e instantánea liberación de energía por parte de los gases de dicho proceso, ejerce una formidable presión sobre la cabeza del émbolo, lo que hace que éste se desplace hacia el lugar que pueda direccionarse, esto es, hacia abajo. En cambio, en los motores a vapor, si se hacía ingresar vapor por la parte superior del cilindro y , luego que el pistón en su recorrida hubiese alcanzado su punto inferior (mejor dicho sería : punto medio inferior) , al hacer ingresar nuevamente vapor por la parte baja del mismo cilindro, sobre el fondo del pistón (que estaba adecuadamente preparado para soportar presiones de empuje) se volvía a ejercer una determinada fuerza, que obligaba al pistón a subir hasta su posición original, repitiéndose el proceso millones de veces .

Por ello, las válvulas de accionadas por el mecanismo de engranajes del control de válvulas , determinaban **cuándo** y **cuánto** vapor debía ingresar, ya sea por la parte superior del cilindro como por la parte inferior . En este caso que estamos viendo, el pistón está encima, con lo que la válvula superior abre inmediatamente la válvula de ingreso, mientras que la válvula inferior conecta el espacio existente entre el pistón y la descarga, y desde aquí al tubo “compound”. De tal modo, el vapor ingresa y empuja al pistón hacia abajo, mientras que el eje principal es girado por el vástago del pistón, conectado éste al cigüeñal. El giro del eje mueve ahora los vástagos del engranaje, comenzando a cerrar la válvula superior, cerrando la otra válvula (inferior) y conectando la superior con el tubo “compound” (o de descarga) . De este modo, la presión existente en las calderas se irá propagando a través de los tubos, empujando el pistón hacia abajo, pero con poca efectividad y consumiendo vapor . Es mucho mejor cerrar la válvula de entrada en aquél punto cuando , en su carrera , el pistón ha

realizado dos tercios ($2/3$) de su recorrido hacia abajo y permite expandir el vapor, mediante su poder calorífico, empujando el émbolo hacia abajo. Hay que indicar que el vapor, a pesar de estar bajo una determinada presión, tiende a tratar de adquirir la presión atmosférica. Recordemos también que el vapor bajo **mayor** presión necesita menos espacio, que bajo una **menor** presión; de lo que se desprende, que de tal modo se puede colocar vapor a una presión de dieciséis (**16**) bar (esto es, una presión de **16,32** Kgs/cm²) dentro de un espacio de una (**1**) pulgada cuadrada, esto sería, un recinto de **6,45** cm², más que si el vapor estuviera a una presión de diez (**10**) bar (**10,2** Kgs/cm²) u otra menor presión.

De tal modo, en estos recintos, como podría ser el interior del cilindro, donde todas las paredes son fijas, la única pared móvil es la que ocupa el área del pistón. Obviamente y en función de lo que estuvimos detallando, ésta es una pared en movimiento, que puede ser empujada libremente.

Ahora bien, si pudiéramos mover cerca de un tercio ($1/3$) de su camino en dirección hacia abajo, este espacio será llenado con vapor fresco a una presión cercana a la que sale el mencionado elemento desde la caldera. Hagamos la aclaración que no será **exactamente** igual al valor de la presión de salida del vapor de la caldera, ya que se producirán pérdidas de presión: por convección, radiación y/o pérdidas localizadas (válvulas, codos, etc.). Si ahora la válvula se cierra, el vapor comenzará a perder presión, y este proceso, llamado **“expansión”** necesitará (como su propio nombre así lo implica....) espacio, ya que el vapor a menor presión necesitará más espacio, de tal modo que el vapor empujará al pistón a lo largo de todo el resto del camino hacia la parte inferior.

Sin embargo, no pasará lo mismo en el movimiento hacia arriba. Un fundamento técnico de Ingeniería indicaría que, en este punto del proceso, la maquinaria está funcionando a un nivel de capacidad del 30 % o si se quiere, que los mecanismos se hallan trabajando a un 30% de su aptitud. Si aumenta este porcentaje, más amplio podrá ser el espacio que podrá llenar el vapor luego de su ingreso al cilindro del vapor, aminorará la expansión. Si disminuye el porcentaje, se necesitará más expansión.

Corolario: bajo un porcentaje indicado, por ejemplo, un 20 %, la maquinaria no se moverá adecuadamente, debido a que produce menor potencia como para hacer trabajar el sistema (o si se quiere, hacer **“girar”** los ejes); en cambio, si el porcentaje es mayor, más vapor será **“absorbido”**

por la maquinaria, con lo que las calderas consumirán más carbón, aunque los motores correrán a la máxima salida de potencia .

Con lo que, personal especializado como podría ser un **Ingeniero Naval**, “arrancaría” con una rueda gigante, colocando los mecanismos en la dirección apropiada, lo que en este caso se traduciría no sólo en una acción sobre estos mecanismos sino también sobre la dirección . De tal modo, permitiendo que el vapor vaya hacia arriba una vez, y hacia abajo en otra ocasión, el motor comenzará a girar hacia la izquierda o hacia la derecha , esto es, dependiendo del modo en que los operarios manejan la rueda de control . Una vez en movimiento, el personal a cargo de la atención del sistema, tratará de ubicar el mecanismo a bajos porcentajes al momento en que el motor haya efectuado completamente unas cuantas vueltas y, si así lo desea, el mismo personal podía cambiar el giro, desde giro hacia la derecha en giro total hacia la izquierda en una par de segundos, mediante el sólo giro de la rueda hacia el extremo opuesto . Esto realizará un trabajo de conmutación sobre las válvulas .

Analícemos lo anterior en función del ejemplo que hemos traído a colación: la válvula superior estaba abierta, el vapor ingresa, el pistón es empujado hacia abajo, el eje gira, la válvula inferior permite que el vapor que proviene desde abajo del pistón fluya dentro del tubo “compound” (o de descarga). Si no conmutamos el mecanismo, conmutaremos la válvula : la válvula superior se conectará súbitamente a la descarga, de tal modo que el vapor fresco dentro del pistón detendrá el empuje hacia abajo sobre el pistón inmediatamente, y se dirigirá a través de la válvula superior hacia el interior del mismo tubo de descarga . Al mismo tiempo, la válvula inferior, conectada al tubo de descarga, se cierra y abre el paso de entrada al vapor fresco, de tal manera que este mismo vapor fresco ingresa al espacio que se halla por debajo del pistón, y trata de mover al pistón hacia arriba, mientras que éste se halla todavía, en movimiento hacia abajo. Justo sería indicar que este procedimiento expone a todo el equipamiento a un tremendo esfuerzo , ya que la fuera sobre el área de empuje del cilindro es sumamente alta en su valor, y tanto los vástagos como los cigüeñales se hallan así bajo esfuerzos mecánicos de torsión, deteniendo el movimiento ascendente mediante un nuevo empuje , de tal manera que hace cambiar la

dirección de giro de los ejes de derecha a izquierda en la dirección contraria, esto es, izquierda a derecha .

Cabría preguntarse qué es lo que le ocurre al vapor de descarga, esto sería, el que proviene del cilindro . En los motores de cilindro único, est vapor se dirige hacia el condensador, o se ventea por la chimenea, o como era el caso del RMS “**Titanic**”, el mencionado vapor ingresaba a otra tubería, debido a que en el barco de los sueños este elemento gaseoso era utilizado tres veces en tres diferentes cilindros, est es, de tamaños distintos . A causa que el gas (en este caso, el vapor) pierde **presión** en el primer cilindro, teniendo la misma **fuerza** sobre el pistón del segundo cilindro, se deberá aumentar la superficie del mismo , en función de soportar el mismo esfuerzo .De tal modo que se efectuará una traslación desde el tubo de descarga del primer cilindro, llamado de **alta presión**, hacia el segundo, llamado también de **presión intermedia** (adonde el vapor habrá de ingresar) y la descarga de éste irá a desembocar en un tubo de descarga hacia el tercer cilindro, denominado **cilindro de baja presión** .Todos los cilindros trabajaban de la misma manera teniendo diferentes cigüeñales , de modo de efectuar la transmisión de la fuerza ejercida sobre los cilindros hacia cada eje de cigüeñal , de manera pareja y manejable .

Si ocurriera que el segundo cilindro fuera más grande que el primero, el tercero debería ser más grande que el segundo . En cierto modo, esto era lo que sucedía en la disposición de los cilindros del “Titanic”, ya que se necesitaba una superficie más grande de pistón, para lo que los constructores de la maquinaria debieron dividir el tercer cilindro en dos cilindros, de tal modo que se tenía un esquema constituido por un cilindro de alta presión, uno de presión intermedia y dos de baja presión: en total, cuatro (4) cilindros de triple expansión . ¿Y por qué de **triple expansión**? . Muy simple : el vapor se utilizaba tres (3) veces, o lo que, observando lo comentado, se expandía tres veces en los diferentes cilindros .

Y sin embargo, el proceso no terminaría aquí . En el caso del vapor, a éste se le podría haber aplicado el mote de “limón gaseoso” : se le exprime hasta sacarle la última gota....En la maquinaria del buque, el vapor se habría de expandir a un valor de presión **bajo**, esto es, a su ingreso a la **turbina** . Aquí ocurrirá un fenómeno especial : el vapor se expandirá más,

ya que, estando a una temperatura todavía más alta, necesitará más espacio del que necesita comúnmente, por lo cuál cae levemente por debajo de la presión de cero (0) bar, esto es, 0 Kgs/cm², lo que se llama “**contrapresión**”. Lo que a su vez, producirá otro efecto adicional : el vapor aspira otro vapor, como ocurre en el caso del pistón que hemos visto: la alta presión por encima del pistón empuja hacia abajo (mediante su expansión), mientras que la presión opuesta ejercida por el vapor tira ese mismo pistón hacia arriba .

De todos modos, en el caso del accionamiento de una turbina, se debe hacer la salvedad que este equipo se mueve de una manera diferente : el vapor ingresará a la turbina, al tiempo que una tobera enfoca al vapor en dirección hacia las hélices de la misma, las que poseen un número suficientemente alto de pequeñas aletas . Es por ello que el vapor fluye alrededor de estas aletas, de modo que las arrastra y empuja hacia un costado, lo mismo que acontece con un molino de viento, con lo que se hace girar el eje de la misma.

Por lo cuál, animado de una muy baja velocidad y temperatura, y una presión que se podría establecer dentro del rango de (- 0,5) a (- 1) bar (es decir, en un rango que oscilaría dentro de los (- 0,51) a (-1,02) Kgs/cm², el vapor ingresa al condensador . Recordemos muy simplemente que la **condensaciones** un fenómeno de visualización continua en todos los ámbitos y que consiste en la transformación en líquido por parte de un gas, hallándose éste último a mucha más temperatura que la superficie que toca .Este condensador es un recipiente que posee una gran cantidad de tubos en su interior, semejante a una caldera, pero sin humo, sino con agua marina fluyendo, de manera que el vapor se convierta, una vez bajada su temperatura, en agua , que merced a la acción de una bomba, alimentará las calderas . Generalmente este tipo de bombas era alimentada (esto es, su giro) por medio del eje principal del motor, con lo que generalmente trabajaban si el motor estaba en funcionamiento, lo que era un procedimiento acertado, ya que si así no fuera, se dañarían el condensador mismo y sus sellos herméticos .

Como no todo el vapor puede ser condensado, debido a que una determinada cantidad de vapor escapará hacia el aire externo a través de los sellos, ajustes y cojinetes, y en ocasiones por las válvulas, se debió insertar (o si se quiere , bombear) agua fresca dentro del interior de la

180

caldera ; en este caso, se montó una bomba de alimentación de agua especial, la cuál trasladaba agua a través de las unidades de precalentamiento de agua hacia el interior de las calderas, generalmente pasando previamente por un sistema de tratamiento (de agua) de manera de remover el limo y las sales que a menudo se hallan presentes en el agua fresca (esto es, carbonato ácido de calcio y de sodio). De manera que se podían hallar dos (2) bombas básicas en el “Titanic” : la primera era la llamada **bomba de marcha principal**, conducida por el eje del cigüeñal, perteneciente éste a los motores recíprocos y la segunda, la **bomba de alimentación de agua fresca** .

Obviamente, los distintos fenómenos intervinientes, fases térmicas, etc., son mucho más complicados y se encontrarían dentro de la parte estrictamente ingenieril. Pero así y todo espero les haya quedado un panorama un poco más claro sobre la composición del sistema de propulsión del malogrado barco de los sueños y de su funcionamiento .

A continuación, veamos otro aspecto técnico/humano referente al RMS “Titanic” .

La Plata, Pcia. de Buenos Aires
10 de Abril de 2004.-