

AGRADECIMIENTO

**A mis hijos Diego y Almudena
fuente de toda inspiración.**

INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE PROPULSIÓN NAVAL

C. de F. Carlos BARRIONUEVO Ojeda

===== ESCUELA SUPERIOR DE GUERRA NAVAL =====

DERECHOS RESERVADOS DE EDICIÓN

Marina de Guerra del Perú

Escuela Superior de Guerra Naval

División de Publicaciones de la Escuela Superior de Guerra Naval

Jr. Sáenz Peña 590 La Punta – Callao

Teléfono: 2016230 Anexo: 6123

INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE PROPULSIÓN NAVAL

Autor

Capitán de Fragata

Carlos Barrionuevo Ojeda

Diseño y Diagramación

OM2 GRÁ. William Cuadros Rodríguez

David Neyra Romero

Corrección

Ylse Mesía Marino

Segunda edición: Octubre 2013

ISBN: 978-612-46560-7-1

Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2013-16428

SÓLO PARA USO EXCLUSIVO DE INSTRUCCIÓN EN LA MARINA DE GUERRA DEL PERÚ

No está permitida la reproducción total o parcial de esta obra ni su tratamiento o transmisión por cualquier medio sin autorización escrita de la División de Publicaciones de la Escuela Superior de Guerra Naval.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTO	1
ÍNDICE	5
CAPÍTULO 1	
INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE PROPULSIÓN NAVAL	9
1.1 El Problema de la Propulsión Naval	9
1.2 Evolución de las Plantas de Propulsión a lo largo de la Historia	10
1.3 Componentes Principales de una Planta de Propulsión	18
1.4 Clasificación de las Plantas de Propulsión	19
1.5 Consideraciones Operacionales y Técnicas	20
1.6 Motores Térmicos	21
CAPÍTULO 2	
RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO, POTENCIA Y EFICIENCIAS	23
2.1 Resistencia al Desplazamiento: Generalidades	23
2.2 Resistencias al Movimiento del Buque	23
2.2.1 Resistencia del Agua	
2.2.2 Resistencia del Aire	
2.2.3 Resistencias Accidentales	
2.2.4 Resistencia Total	
2.3 Potencia de la Planta de Propulsión	27
2.3.1 Canal de Experiencias Hidrodinámicas	
2.3.2 Leyes de Semejanza de Froude	
2.3.3 Potencia de Propulsión	
2.4 Eficiencia de la Planta de Propulsión	31
2.5 Poder Calorífico y Consumo de Combustible	33
CAPÍTULO 3	
PLANTAS DE PROPULSIÓN CON TURBINAS A VAPOR	34
3.1 Ciclos Termodinámicos de las Plantas a Vapor	34
3.1.1 Ciclo Termodinámico	
3.1.2 Ciclo Rankine o Ciclo de Vapor	
3.1.3 Componentes mecánicos de un Ciclo a vapor	
3.1.4 Variantes del Ciclo de Vapor Rankine	
3.2 Componentes de las Plantas de Propulsión a Vapor	41

3.2.1 Calderas Navales	
3.2.1.1 Procesos Funcionales que ocurren en una Caldera	
3.2.1.2 El Vapor	
3.2.1.3 Clasificación de las Calderas	
3.2.1.4 Tipos de Re-calentadores de Calderas	
3.2.1.5 Capacidad de las Calderas	
3.2.1.6 Características de Operación de las Calderas Navales	
3.2.1.7 Componentes de una Caldera Naval	
3.2.2 Turbinas a Vapor	
3.2.2.1 Descripción y Principios Básicos de Funcionamiento	
3.2.2.2 Etapas de una Turbina a Vapor	
3.2.2.3 Escalonamientos de las Turbinas a Vapor	
3.2.2.4 Clasificación	
3.2.2.5 Componentes Principales	
3.2.2.6 Rendimiento o Eficiencia	
3.2.2.7 Regulación de Potencia	
3.2.3 Sistema de Condensado	
3.2.3.1 Funciones	
3.2.3.2 Componentes Principales	
3.3 Ventajas y Desventajas de las Plantas de Propulsión a Vapor	91
CAPÍTULO 4	
PLANTAS DE PROPULSIÓN CON TURBINAS A GAS	92
4.1 Las Turbinas a Gas o Turbinas de Combustión	92
4.2 Ciclo Termodinámico Brayton	93
4.3 Motores a Reacción	97
4.3.1 El Turborreactor	
4.3.2 El Turbohélice	
4.3.3 El Turboventilador	
4.3.4 Diferencias entre las Turbinas a Gas Marinas y los Turborreactores	
4.4 Turbina a Gas Marina: LM-2500	100
4.4.1 Generalidades	
4.4.2 Componentes Principales	
4.4.2.1 El Conjunto: Base/Contenedor	
4.4.2.2 La Turbina a Gas	
4.4.2.3 El Módulo de Lubricación	
4.4.2.4 La Unidad de Comando y Control	
4.4.2.5 El Módulo de Lavado	
4.4.3 Sistemas Principales	
4.4.3.1 El Sistema de Lubricación	
4.4.3.2 El Sistema de Combustible	
4.4.3.3 El Sistema de Encendido	
4.4.3.4 El Sistema de Aire	
4.4.3.5 El Sistema de Arranque	

4.5 Ventajas y Desventajas de las Plantas de Propulsión con Turbinas a Gas	130
--	-----

CAPÍTULO 5

PLANTAS DE PROPULSIÓN CON MOTORES DIÉSEL	132
---	------------

5.1 Motores Alternativos de Combustión Interna	132
--	-----

5.1.1 Ciclos Termodinámicos: Otto y Diésel

5.1.2 Características de los Motores Ciclo Otto y Ciclo Diésel

5.1.3 Clasificación de los Motores Alternativos

5.2 Motores Diésel de Propulsión Naval	146
--	-----

5.2.1 Componentes Principales

5.2.1.1 Componentes Estructurales

5.2.1.2 Componentes Móviles

5.2.2 Sistemas Principales

5.2.2.1 Sistema de Admisión de Aire

5.2.2.2 Sistema de Gases de Escape

5.2.2.3 Sistema de Inyección de Combustible

5.2.2.4 Sistema de Lubricación

5.2.2.5 Sistema de Arranque

5.2.2.6 Sistema de Refrigeración

5.3 Ventajas y Desventajas de las Plantas de Propulsión con Motores Ciclo Diésel	175
---	-----

CAPÍTULO 6

PLANTAS DE PROPULSIÓN DIÉSEL-ELÉCTRICAS PARA SUBMARINOS	177
--	------------

6.1 Descripción de la Planta de Propulsión Diésel-Eléctricas	177
--	-----

6.1.1 Funcionamiento de la Planta

6.1.2 Partes Componentes

6.1.2.1 Motor de Propulsión

6.1.2.2 Control Principal

6.1.2.3 Tablero Principal

6.1.2.4 Grupo Excitatriz

6.1.2.5 Tablero de los Generadores

6.1.2.6 Control de Máquinas Diésel y Generadores Principales

6.1.2.7 Generadores Principales

6.1.2.8 Baterías

6.2 Operación de las Plantas de Propulsión Diésel-Eléctricas	185
--	-----

6.2.1 Control de la Planta de Propulsión

6.2.2 Condiciones de Propulsión del Submarino

CAPÍTULO 7	
ENERGÍA NUCLEAR	188
7.1 Propulsión Nuclear	188
7.2 La Energía Nuclear	189
7.2.1 Fisión Nuclear	
7.2.2 Fusión Nuclear	
7.2.3 Reactores Nucleares	
7.2.4 Plantas de Propulsión Naval con Combustible Nuclear	
7.2.5 Componentes de una Planta de Propulsión Nuclear	
CAPÍTULO 8	
PLANTAS DE PROPULSIÓN HÍBRIDAS O COMBINADAS	195
8.1 Plantas Combinadas	195
8.1.1 Finalidad de las Plantas Combinadas	
8.1.2 Tipos de Plantas de Propulsión Combinadas	
8.2 Comparación de las Plantas de Propulsión	204
GLOSARIO	206
BIBLIOGRAFÍA	217

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN A LAS PLANTAS DE PROPULSIÓN NAVAL

1.1 El Problema de la Propulsión Naval

Propulsar, en el ámbito naval, consiste en trasladar una embarcación de un punto a otro sobre una superficie de agua a pesar de las fuerzas que se opongan a este movimiento, las cuales son, principalmente, el rozamiento del agua sobre el casco sumergido y el rozamiento del aire sobre la superestructura.

Además, este traslado debe tener en cuenta ciertas características de la embarcación, como la velocidad, la maniobrabilidad, la autonomía, el diseño del casco y su propulsor, así como la seguridad en la operación de la Planta de Propulsión, ya que siempre es importante para una embarcación poder navegar con velocidad suficiente, contar con la mayor autonomía, hacerlo con el menor esfuerzo y de la manera más segura y económica posible, facilitando, además, su maniobra en diferentes áreas geográficas y condiciones climatológicas.

Estas consideraciones son muchas veces contrapuestas unas con otras. Si queremos un buque veloz, debemos considerar su desplazamiento y autonomía. Si queremos gran autonomía, debemos considerar el consumo del combustible, capacidad de almacenamiento, los costos de la instalación y operación y, en todos los casos, debemos diseñar sistemas de propulsión que sean seguros, flexibles y fáciles de operar.

El problema del diseño de las Plantas de Propulsión en los buques de guerra consiste, entonces, en buscar un equilibrio entre los aspectos técnicos y las capacidades operacionales requeridas de acuerdo con su misionamiento.

Este principio ha definido desde un inicio la evolución de la propulsión naval a lo largo de la historia, la cual ha ido transformándose y adaptándose en la medida que el desarrollo tecnológico ha permitido mejorar progresivamente sus características y capacidades.

1.2 Evolución de las Plantas de Propulsión a lo largo de la Historia

La evolución de la propulsión naval se inicia con el sistema a remo; este, en su forma más simple, consistía en un hombre subido a una embarcación remando, con sus manos o empleando como medio a los remos. Posteriormente, se incrementaron y mejoraron estas embarcaciones alineando filas de remos, lo cual aumentó su potencia, velocidad y tamaño. Luego, se adicionaron incipientes aparejos de velas como sistema de propulsión para poder aprovechar la fuerza del viento.

El remo y la vela independientemente o combinados fueron empleados durante toda la época antigua por egipcios, fenicios, romanos y vikingos hasta que el desarrollo tecnológico de los aparejos navales a vela, el uso de nuevos instrumentos de navegación, la necesidad de mayor autonomía de las embarcaciones y cambios sociales terminaron definitivamente con las galeras y la propulsión a remos.

Ambos sistemas de propulsión dependían de las condiciones del mar, del viento y la corriente, factores no controlables por el hombre, lo cual limitaba el empleo de estas naves a ciertas áreas geográficas y a determinadas condiciones climatológicas.

Nave Romana Siglo I



Drakkar Vikingo



Durante la edad de los descubrimientos, el desarrollo de la navegación a vela y el conocimiento cabal de la náutica y astronomía le permitieron al hombre circunnavegar el planeta y establecer criterios definidos en la táctica y estrategia naval.

Durante el combate de Trafalgar, el 21 de octubre de 1805, la tecnología de aparejos a vela había llegado a su madurez; las naves enfrentadas eran grandes navíos de línea dotados de complejos aparejos con arboladuras de cuatro palos, que podían llevar

gran número de cañones y sustentaban el poder de los crecientes imperios coloniales. Aunque para esa época la lustración había producido ya inventores que habían planteado los principios de la máquina a vapor, el desarrollo de la propulsión naval a vela continuó con las fragatas que, en ese tiempo, montaban aparejos redondos, pero añadían también velas triangulares en los palos de mesana y bauprés, que les permitían ceñir el viento en ángulos muy cerrados, lo cual aumentaba significativamente la velocidad y maniobrabilidad de las escuadras.

HMS "Victory"
(Insignia del Almirante
Nelson en Trafalgar)



Navío español
"Santísima Trinidad"
(1769-1805)



La Máquina de Vapor:

Existen muchas y muy diversas referencias al uso del vapor como fuerza motriz incluso desde la época antigua, aunque las aplicaciones navales fueron más recientes. Sin embargo, estos conceptos y dispositivos mecánicos sirvieron solo como antecedentes hasta que James Watt, alrededor de 1765, los consolidó e hizo de la Máquina de Vapor un invento que podía tener uso práctico, gracias a la incorporación de un condensador externo que permitió cerrar el ciclo abierto del vapor.

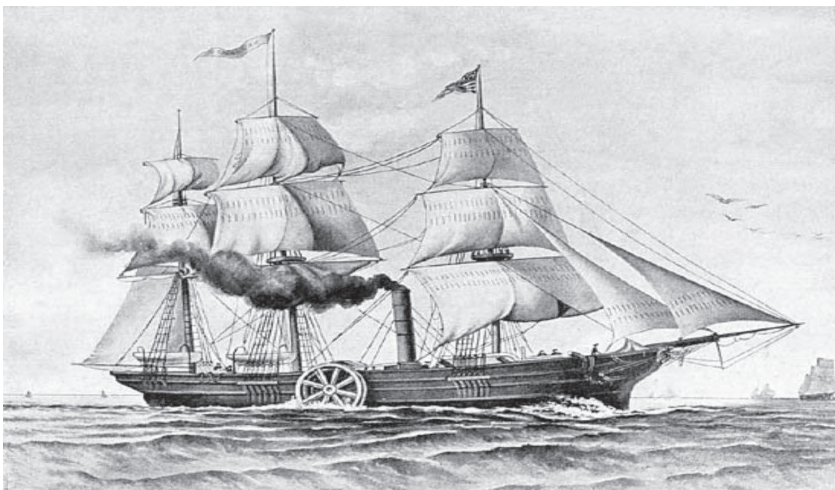
A partir de entonces, se suceden diversas tentativas de conseguir aplicaciones prácticas y eficientes de la Máquina de Vapor como fuerza motriz, en especial para la Propulsión Naval.

- En 1783, el francés Jouffroy es el primero que consigue aplicar la Máquina de Vapor a un buque; así, logró que una nave con un propulsor de ruedas de paletas, el "Pyroscaphe", navegue por el río Saône.
- En 1804, John Stevens desarrolla una Máquina de Vapor aplicada a una transmisión con hélices; propone precozmente este nuevo tipo de propulsor en lugar de las ruedas de paletas, muy vulnerables en combate y poco eficientes.
- En 1807, Robert Fulton hace navegar su vapor de paletas, El "Clermont", por el río Hudson entre Nueva York y Albany. De ese modo, se establece el primer servicio regular en buques a vapor.
- En 1819, el buque a vapor con propulsor de ruedas Savannah cruzó el Atlántico, lo cual demostró que este tipo de buques no estaban limitados a ríos o aguas interiores.
- En 1824, **Sadi Carnot** presenta a la comunidad científica sus trabajos sobre el segundo principio de la termodinámica; así, se consolidó el concepto del ciclo de vapor y facilitó, con esto, el desarrollo de las Plantas de Propulsión a Vapor en los buques, lo cual dio inicio a la era del vapor en la propulsión naval.

Progresivamente, a partir de esa fecha, las principales marinas del mundo fueron introduciendo en sus escuadras algunas naves a vapor con misiones auxiliares.

"Los marinos no veían con buenos ojos aquellas enormes, sucias y ruidosas máquinas que movían unas enormes ruedas de palas adosadas a los costados de las naves; aducían, con razón, que las ruedas eran demasiado vulnerables al fuego enemigo, las máquinas poco fiables y el vapor una herejía que atentaba contra las tradiciones del mar".

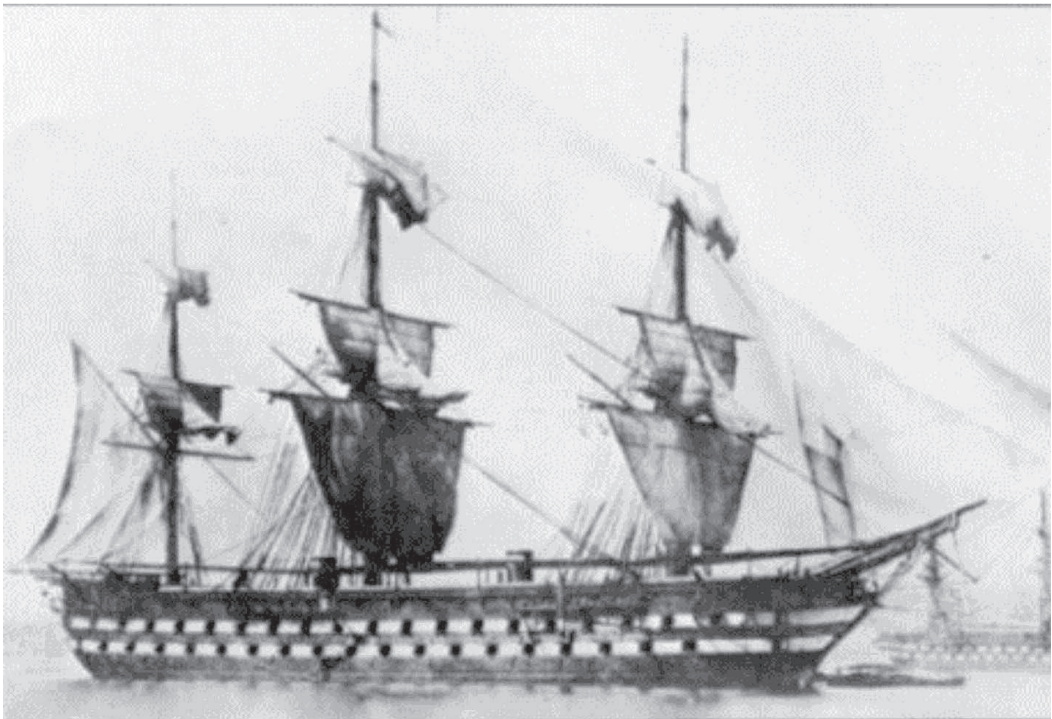
Buque a vapor con propulsor de ruedas "Savannah"



En Francia, un proyecto para la construcción de un buque de línea con una planta de propulsión a vapor de 1.000 HP propulsado por una hélice, con líneas de carena más finas, para reducir así la resistencia del casco al desplazamiento y lograr mayor velocidad, que contó con el necesario respaldo político, fue acogido por el ingeniero naval Dupuy de Lôme, quien acababa de construir los dos primeros buques franceses con casco de hierro. Este efectuó el diseño del “Napoleón”, un buque de línea de más de 5,000 toneladas de desplazamiento, con una planta de propulsión con motor alternativo de vapor de 900 HP, capaz de alcanzar 11 nudos de velocidad; además, estaba armado de 90 cañones como armamento y fue botado el 15 de mayo de 1850. Como inmediata respuesta, Gran Bretaña proyectó y botó varios buques a vapor de similares características, entre los que destacaría el “Agamenon”. De esta manera, se inició una carrera por consolidar la Planta a Vapor en los buques de guerra entre las potencias navales de la época.

“EI NAPOLEÓN”

Primer buque a vapor con propulsor a hélice



En 1854, se inició la Guerra de Crimea enfrentando a la coalición formada por Gran Bretaña y Francia contra el Imperio Ruso, en la cual se demostró la enorme superioridad táctica de los navíos de vapor frente a los de vela que dependían todavía de factores climatológicos y dio el empuje final a la propulsión a vapor, frente a las críticas de los estrategas navales más ortodoxos.

A inicios de 1860, mejoras en las calderas cilíndricas tradicionales permitieron incrementar la presión de trabajo del vapor, ya que el vapor a baja presión empleado hasta entonces proporcionaba un empuje limitado a los pistones de las Máquinas Alternativas.

El vapor a alta presión suministrado por estas calderas permitió incrementar significativamente la potencia desarrollada por dichas máquinas, lo cual operacionalmente se tradujo en un aumento de velocidad. Posteriores mejoras permitieron el desarrollo de máquinas de triple y cuádruple expansión, con lo cual se redujo el consumo de carbón y, de esta manera, se logró una mayor eficiencia.

En este espacio de tiempo, el vapor y la vela convivieron en la forma de plantas mixtas, que eran buques con plantas de vapor que todavía tenían aparejos de vela.

Este tipo de Propulsión Naval fue la que emplearon la mayoría de los buques enfrentados durante la Guerra del Pacífico 1879-1884: Calderas a carbón, Motores alternativos de Vapor y una Hélice como propulsor.

El Huáscar en el Callao (1879)



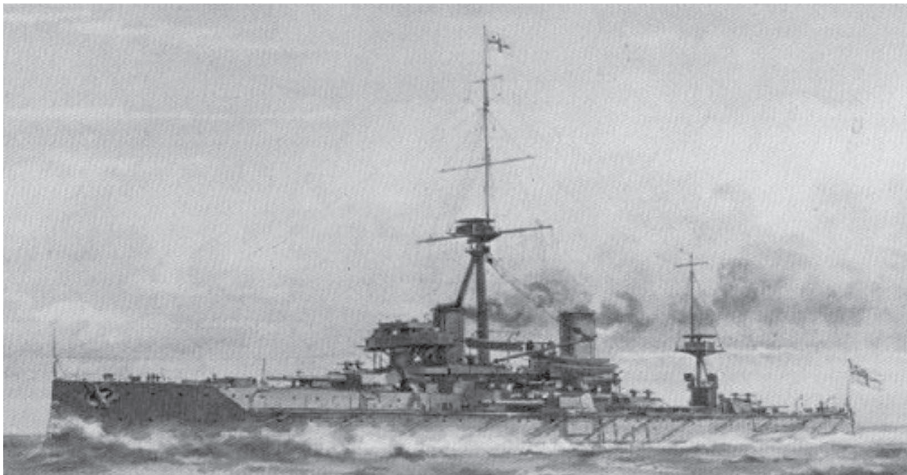
En 1894, Charles Parsons introduce una nueva máquina más eficiente que el motor alternativo, la Turbina a Vapor. Dicho invento es instalado en la nave "Turbinia" con la que se alcanzan 18 nudos de velocidad, la cual es sustituida, poco después, por tres turbinas, de alta, media y baja presión con las que se aprovechaba mucho mejor el vapor en las diferentes condiciones de operación, y le permitieron al buque alcanzar más de 30 nudos. Con esa velocidad, lograda con la revolucionaria turbina, fueron definitivamente derrotados en la carrera tecnológica los buques de propulsión a vela y, paulatinamente, las escuadras fueron pasando al retiro a sus grandes veleros y los sustituyeron por los buques a vapor.

En 1897, otro inventor, esta vez alemán, Rudolf Diésel, desarrolla el ciclo termodinámico de un motor basado en la combustión al interior de sus cilindros de un combustible líquido derivado del petróleo, lo que da inicio a otro capítulo en el desarrollo de la propulsión naval. Esto supondrá, a la larga, el fin de los buques a vapor tradicionales, del mismo modo que estos supusieron el fin de la propulsión a vela, limitando las Plantas a Vapor a ciertos usos particulares.

Para inicios de 1900, los buques de línea incrementaron ostensiblemente el alcance de sus cañones gracias a la gran potencia de sus plantas a vapor que para esa época podía desplazar buques de gran tonelaje a velocidades cercanas a 30 nudos, que les permitía llevar cañones pesados y corazas de protección.

Aplicando las nuevas tecnologías de propulsión disponibles, el almirante británico Sir John Fischer concretó la construcción del “Dreadnoughts”, el cual fue considerado para esa época el más poderoso y rápido acorazado del mundo, armado con 10 cañones de 305 mm.

Acorazado británico de la I Guerra Mundial “Dreadnoughts”



La II Guerra Mundial fue un catalizador para la ciencia y la tecnología. El final de esta trajo como consecuencia la inmediata explotación por las potencias vencedoras de las nuevas tecnologías, El Radar, el Sonar, la fisión y fusión nuclear, los misiles V2, los motores a reacción y los submarinos clase XXI alemanes, entre otros; se iniciaron los distintos desarrollos de cada una de estas tecnologías.

La Marina norteamericana fue la primera en incorporar estos nuevos conceptos reconstruyendo entre los años 1957 y 1960 El USS Little Rock para alojar en su popa un lanzador de misiles. Mientras se construían nuevas naves lanzamisiles, los norteamericanos procedieron a reconstruir completamente tres de sus cruceros pesados como buques misileros entre 1959 y 1962.

Estas naves todavía tenían plantas a vapor para su propulsión, aunque el desarrollo de las Turbinas a Gas y los modernos motores Diésel para propulsión naval se encontraban bastante avanzados.

En 1959, se botó el USS “Longbeach” que fue el primer buque de superficie del mundo dotado de Propulsión Nuclear (Planta de Vapor con un reactor nuclear en vez de calderas convencionales). Esta fue una nave experimental en la que se probaron los más modernos sistemas de propulsión y armamento. Esta nave tenía 14.200 toneladas de desplazamiento y más de 30 nudos de velocidad.

USS “Longbeach”

Primer buque de superficie con “Propulsión Nuclear”



Los costos de instalación y las dificultades tecnológicas asociadas al desarrollo de la propulsión nuclear orientaron los esfuerzos tecnológicos en la búsqueda de la mayor eficacia posible con el menor costo. Esto, sumado a los nuevos conceptos de la Estrategia Naval, al desarrollo de las Turbinas a Gas de aplicación marina y los Motores Diésel, trajo como resultado el diseño de Plantas Combinadas, como la forma más eficiente de propulsar un buque de línea.

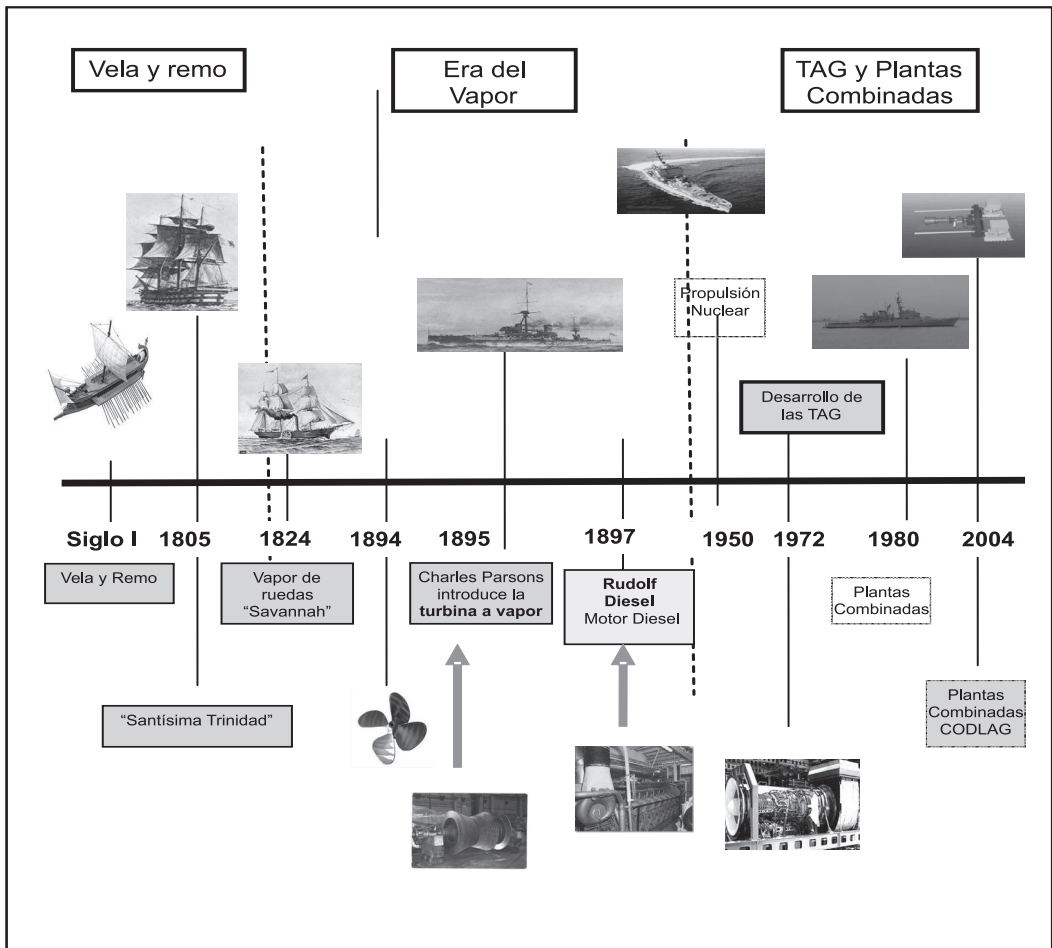
Este tipo de propulsión aprovecha las ventajas de las diferentes formas de propulsión, Turbinas a Vapor, Motores Diésel, Turbinas a gas y propulsión Diésel-eléctrica.

La Propulsión Nuclear quedó limitada a buques de gran tamaño: Portaaviones y Submarinos Balísticos, en los cuales la autonomía y el consumo de combustible son características primordiales.

Buques de Superficie con Plantas Combinadas



Plantas de Propulsión Naval



1.3 Componentes Principales de una Planta de Propulsión

Todo sistema de propulsión naval está diseñado para transformar alguna forma de energía en trabajo mecánico que pueda ser empleada en la propulsión del buque; por ejemplo, las plantas a vapor convierten la energía química del combustible quemado en las calderas en energía calorífica, que convierte el agua en vapor que es enviado mediante tuberías a las turbinas, en las que es transformado en energía mecánica, que mueve los ejes que transmiten el movimiento a las hélices, las cuales transforman, a su vez, este movimiento en empuje, el que finalmente produce el desplazamiento de la nave.

Para lograr un manejo eficiente de la energía en sus diversas formas y transformarla desde una fuente de almacenamiento (combustible) hasta que produzca el empuje deseado al buque, es necesario un sistema completo, el cual está conformado por diferentes subsistemas componentes, los que llevan a cabo funciones específicas y complementarias.

Este sistema en un buque de guerra es denominado “Planta de Propulsión” y sus principales subsistemas componentes son los siguientes:

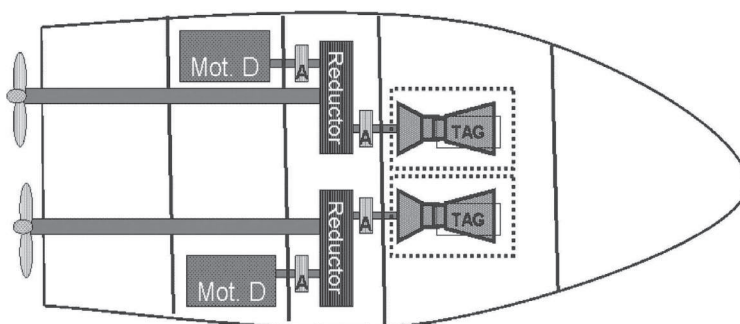
- a) **Máquinas o Motores.** Estos llevan a cabo las transformaciones de la energía hasta convertirla en energía mecánica necesaria para la propulsión. Los principales tipos son Turbinas a Gas, Turbinas a Vapor, Motores Diésel, Motores Eléctricos o una Combinación de estos, (Plantas Combinadas).
- b) **Tren de engranajes, Caja Reductora o Reductora Inversora.** Tienen como finalidad reducir las revoluciones producidas por las máquinas o motores, de acuerdo con el régimen de eficiencia del propulsor; adicionalmente, acoplan y desacoplan el motor del eje propulsor e invierten en algunos casos el sentido de giro de éste de acuerdo con la configuración de la Planta de Propulsión.
- c) **Ejes de Transmisión o Ejes de Propulsión.** Transmiten el movimiento desde los motores y reductores hasta el propulsor o hélice a lo largo del buque; son soportados por cojinetes o descansos, los cuales proveen los puntos de apoyo necesarios y absorben las vibraciones y empujes axiales y radiales. Se consideran importantes su longitud, diámetro y tipo de cojinetes utilizados.
- d) **Propulsores o Hélices.** La función principal de un propulsor es transformar la energía mecánica entregada en forma de torque por los ejes en empuje efectivo. El tipo de propulsor más comúnmente utilizado es la hélice, la cual genera empuje al dar velocidad a una columna de agua, la que es desplazada en dirección opuesta al movimiento del buque. Los dos principales tipos de hélice son las de paso fijo y aquellas en las que se puede controlar el paso mediante algún mecanismo de control.

Adicionalmente, existe toda una diversidad de equipos auxiliares necesarios para hacer que el sistema funcione, desde almacenar combustible en tanques para ser

utilizado posteriormente en las máquinas principales hasta generar electricidad para el consumo abordo y el control y operación de la Planta de Propulsión.

El propósito de este libro es dar al lector los conceptos básicos de cómo ocurren las transformaciones de la energía en los diferentes tipos de plantas de propulsión empleadas por los buques de nuestra escuadra, ampliando estos conceptos a las unidades submarinas y aeronavales, dando una descripción de sus principales sistemas y componentes.

Diagrama de la Planta de Propulsión de una Fragata clase “Carbajal”



1.4 Clasificación de las Plantas de Propulsión

De acuerdo con la forma como se transforma la energía en las máquinas o motores principales y con las diferentes configuraciones que presenten, las actuales plantas de propulsión en buques de guerra pueden ser clasificadas de la siguiente manera:

- Plantas de Propulsión a Vapor, (Turbinas a Vapor).** Son aquellas que están conformadas por calderas que generan vapor, el cual es transformado en energía mecánica en las turbinas y en empuje efectivo por una hélice; el tipo y número de calderas y turbinas, así como el número de ejes, depende de la configuración de la planta de propulsión y el tipo de buque. Actualmente, el buque en servicio de nuestra escuadra que cuenta con este tipo de planta de propulsión es el Crucero Ligero Misilero “Almirante Grau”.
- Plantas de Propulsión con Turbinas a Gas.** En este tipo de planta de propulsión, todas las transformaciones de la energía ocurren al interior de una turbina a gas (TAG), en la que se quema combustible mezclado con aire generándose un gran volumen de gases de escape que finalmente mueven una “turbina de potencia”, que es la que genera el trabajo mecánico entregado al eje de propulsión. Generalmente, este tipo de Máquinas son empleadas en plantas combinadas.
- Plantas de Propulsión con Máquinas Diésel.** Son las plantas de propulsión en las cuales las transformaciones de la energía se producen al interior de Motores

Diésel, los cuales pueden ser de diferentes tipos y estar distribuidos en diferentes configuraciones. Los buques que cuentan con este tipo de propulsión en nuestra escuadra son las Corbetas Misileras clase “Velarde” y los buques auxiliares.

- d) **Plantas de Propulsión Combinadas o Híbridas.** Este tipo de plantas de propulsión combinan plantas a vapor, con turbinas a gas o con motores Diésel y últimamente plantas Diésel-eléctricas. La finalidad de estas combinaciones es lograr mayor eficiencia aprovechando las ventajas de cada tipo de Motor o Máquina. Las Fragatas Misileras clase Carvajal cuentan con plantas combinadas CODOG, una planta combinada de máquinas diésel o turbinas a gas. (Esta nomenclatura se explicará en detalle en capítulos posteriores).
- e) **Plantas de Propulsión no Convencionales.** Se denominan así a aquellas plantas de propulsión cuyos principios de funcionamiento o su desarrollo tecnológico no están difundidos a nivel global. Entre estas, se encuentran las Plantas que emplean combustible nuclear, los desarrollos de sistemas independientes de superficie (API) para submarinos convencional.

1.5 Consideraciones Operacionales y Técnicas

Como hemos visto en párrafos anteriores, para el diseño de toda “Planta de Propulsión” de un buque de guerra, deben tenerse en cuenta ciertos requerimientos y especificaciones, de acuerdo con la misión del buque y con la configuración de su “Planta”, las cuales pueden ser de carácter Técnico u Operacional.

Consideraciones Técnicas:

- a) **Consumo específico de combustible.** El consumo específico de combustible es un parámetro que representa la capacidad de una máquina térmica para convertir una cantidad determinada de combustible en trabajo mecánico. Este parámetro está dado en las especificaciones nominales del motor y representa una forma de determinar la eficiencia energética de la planta de propulsión. Esta característica determina de alguna manera la Autonomía del buque.
- b) **Tipo de combustible requerido.** Representa la flexibilidad de una Planta de Propulsión de usar uno o varios tipos de combustible. Esta característica está relacionada con la facilidad de almacenamiento y manipuleo del combustible abordo, así como con la economía de operación.

Así, por ejemplo, una Planta de Propulsión a vapor que opera con combustible residual; si bien es cierto que el costo de operación puede ser más económico, esto debe contrastarse con la dificultad de almacenamiento y manipuleo del combustible residual, ya que este requiere de bombas más potentes y tuberías de mayor diámetro, entre otros aspectos relacionados.

- c) **Costo de instalación.** Esta característica considera el costo que implica la instalación de una planta de propulsión para poder generar una unidad de potencia, considerando todos los sistemas auxiliares asociados que implica. Este costo se define generalmente en:

Unidades Monetarias (\$) / Unidades de Potencia (HP)

- d) **Limitaciones de potencia para su diseño.** Considera los límites máximos de potencia que cada uno de los diferentes tipos de plantas de propulsión puede generar, de acuerdo con sus características técnicas y con el diseño de los Motores o Máquinas, así como con las consideraciones de diseño.

Consideraciones Operacionales:

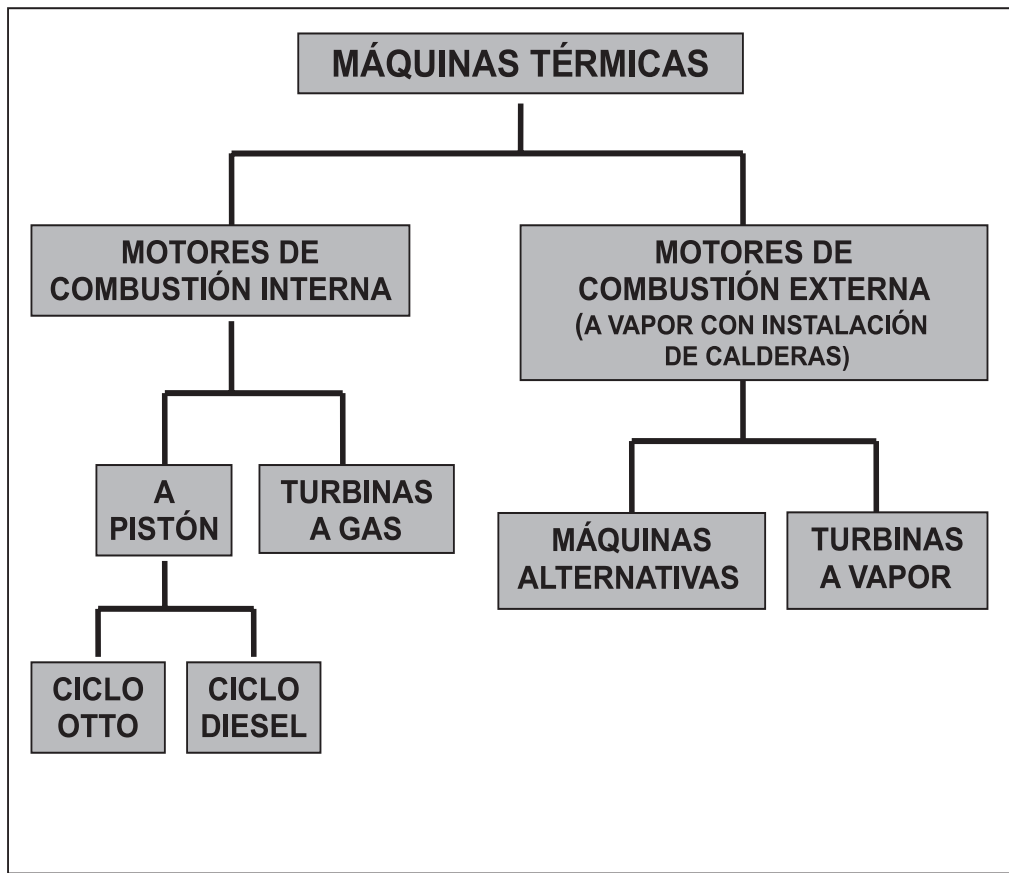
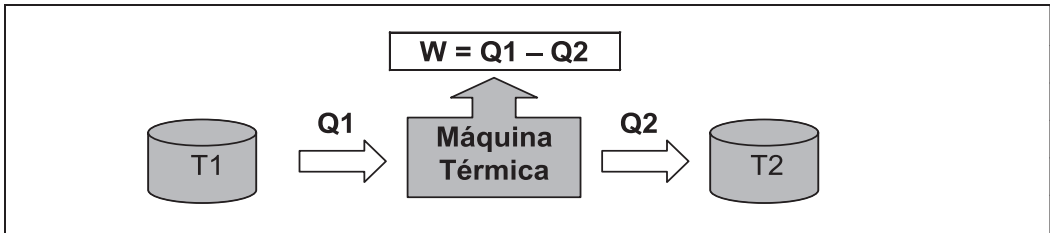
- a) **Velocidad.** Esta característica está relacionada directamente con la potencia de la Planta de Propulsión, ya que la potencia requerida para desplazar un buque conforme aumenta la velocidad es una función exponencial y debe ser considerada cuidadosamente de acuerdo con la misión desempeñada, ya que incrementa sustancialmente el consumo de combustible y el costo de la planta propulsora.
- b) **Autonomía.** Esta característica operacional representa la capacidad del buque de poder desempeñar misiones prolongadas lejos de bases o buques de aprovisionamiento; en cuanto a lo relacionado al tipo y diseño de la Planta de Propulsión, depende del consumo específico de combustible y a la capacidad de almacenamiento de este.
- c) **Relación: Peso-Potencia.** Representa el peso y el volumen que la instalación propulsora requiere para poder generar una unidad de potencia. Esta característica está condicionada al desplazamiento del buque, y es extremadamente importante en unidades pequeñas y medianas, ya que, cuanto mejor sea la relación peso-potencia de la Planta de Propulsión, su autonomía y capacidad como plataforma para instalar sistemas de armas serán mejores.

1.6 Motores Térmicos

Como hemos explicado anteriormente, toda Planta de Propulsión debe contar con una Máquina o Motor que sea el que proporcione la potencia mecánica necesaria para el funcionamiento del sistema. Estos, en un buque de guerra, pueden ser Motores Eléctricos o Máquinas Térmicas. Una Máquina Térmica es un dispositivo que tiene la capacidad de transformar calor (energía térmica) en trabajo (energía mecánica) de forma continua, para lo cual describe un Ciclo Termodinámico entre dos fuentes a diferente temperatura. De una fuente a temperatura más elevada (T_1), absorbe una cantidad de calor (Q_1); parte de ese calor es transformado en el interior de la Máquina en trabajo mecánico (W) y el resto (Q_2) es entregado a la fuente que se encuentra a menor temperatura (T_2).

Las Máquinas o Motores Térmicos, a su vez, se clasifican dependiendo del lugar donde se produzca la combustión (energía térmica), ya sea al interior o fuera de estas y si el movimiento que generan es alternativo o rotativo. A continuación, se presenta un diagrama de la clasificación de las Máquinas Térmicas, el cual será desarrollado en capítulos posteriores cuando se expliquen los diferentes tipos de plantas de propulsión utilizados en buques de guerra.

Clasificación de las Máquinas Térmicas



CAPÍTULO 2

RESISTENCIA AL DESPLAZAMIENTO, POTENCIA Y EFICIENCIAS

2.1 Resistencia al desplazamiento: Generalidades

Para que un buque se desplace sobre una superficie de agua, es necesario vencer las fuerzas que se opongan a este movimiento. Estas fuerzas están determinadas principalmente por la “resistencia al desplazamiento” o resistencia del buque al movimiento, y son las que ofrecen el agua y el aire, los medios por los que el buque se desplaza.

El valor de la potencia que se deberá aplicar al buque para que adquiera y mantenga una velocidad constante depende de la resistencia que presenten ambos fluidos.

Como sabemos, la resistencia se incrementa con la velocidad, con una función exponencial, lo cual determina un aumento también exponencial de la potencia en relación con la velocidad; se considera en la práctica como velocidad crítica para el incremento de potencia los 26 nudos.

Para el cálculo de la Resistencia Total al desplazamiento de un buque, se considera la siguiente fórmula general:

$$\mathbf{R \text{ (Total)} = R \text{ (agua)} + R \text{ (aire)} + R \text{ (accidentales)}}$$

2.2 Resistencias al Movimiento del Buque

2.2.1 Resistencia del Agua

Está compuesta por los siguientes componentes:

La Resistencia de Fricción R(f): Es el componente en magnitud más importante para el cálculo de la resistencia; se debe al rozamiento del agua sobre el casco del buque y, por lo tanto, depende de la forma de este y del coeficiente de

fricción entre la superficie de la obra viva y el agua; su valor se incrementa exponencialmente con la velocidad.

Para su cálculo aproximado, se puede utilizar la siguiente fórmula:

$$R(f) = f S \cdot V^{\circ}$$

Coefficiente de Fricción: $f = 0.417 + 0.773/L + 2.862$

L: Eslora en metros

S: Superficie mojada de la carena en M²

V: Velocidad del buque en nudos

°: Exponente experimental (generalmente tiene un valor de 1.825)

La Resistencia de Apéndices R(re): También denominada “Resistencia de Remolinos”. Se debe a la turbulencia que producen los apéndices que salen del casco del buque durante el desplazamiento, como, por ejemplo, el dome del sonar, el sable de la corredera, los arbotantes, los planos estabilizadores, entre otros.

Su valor varía entre el 5 y el 8% del valor de la Resistencia de Fricción para un buque determinado.

R(re) ; Su valor varía del 5% al 8% de Rf

La Resistencia de Olas R(o): Es la resistencia producida por la formación de olas en la proa y en la popa del buque, cuando este desplaza masas de agua durante su movimiento. Su valor puede ser determinado de manera aproximada por la siguiente fórmula:

$$R(o) = K_o \cdot (D^{2/3} V^4) / L$$

Ko: Entre 0.49-0.64

D: Desplazamiento en toneladas

V: Velocidad en nudos

L: Eslora en metros

La Resistencia de Viscosidad de Estela R(v): Es la producida por el agua que arrastra el buque hacia proa al desplazarse; se crea una resistencia debido al frotamiento del agua contra el agua. Tiene un valor aproximado del 3% del valor de la Resistencia de Olas.

$$R(v) = 0.03 (R_o)$$

Finalmente, la Resistencia Total que presenta el agua al desplazamiento del buque estaría establecida por la siguiente fórmula.

$$R(\text{agua}) = R(f) + R(\text{re}) + R(o) + R(v)$$

2.2.2 Resistencia del Aire

Es la resistencia que ofrece el aire sobre la obra muerta y la superestructura del buque al desplazarse. Su valor aproximado es el 3% del valor de la Resistencia Total del Agua.

$$R(\text{aire}) = 0.03 R(\text{agua})$$

2.2.3 Resistencias Accidentales

Este tipo de resistencias no se presenta de manera continua durante el desplazamiento de los buques, pues se deben a ciertas condiciones transitorias, pero incrementan de manera significativa el valor de la resistencia que ofrece el agua al desplazamiento. Estas condiciones transitorias se pueden resumir en lo siguiente:

Resistencia debido al “Estado del Mar”: Considera el efecto del “estado del mar” (Mar gruesa) sobre el desplazamiento del buque. Su efecto depende del tamaño relativo de la embarcación. Cuanto más pequeño es el buque en dimensiones, mayor es el efecto de las condiciones del mar sobre su desplazamiento.

Resistencia de “Carena Sucia”: Considera el efecto que tiene la falta de mantenimiento de la obra viva (Ingreso a dique) al acumular incrustaciones y otros defectos del casco que incrementan el coeficiente de fricción de este con respecto al agua.

Resistencia debido a fondos bajos y canales: A medida que disminuye la profundidad del agua o cuando se transita por canales estrechos, aumenta la resistencia debido a que las ondas líquidas producidas al desplazarse el buque no pueden propagarse libremente como en aguas abiertas y rebotan o se interfieren unas con otras. Esto causa una resistencia adicional al desplazamiento mientras se transite por estas zonas.

2.2.4 Resistencia Total (RT)

Para el cálculo de la Resistencia Total (RT) del buque a su desplazamiento, debe tenerse en consideración lo siguiente:

La Resistencia Total está compuesta por la Resistencia del Agua, por la Resistencia del Aire y ocasionalmente por las Resistencias Accidentales. El valor de la Resistencia de Fricción es el más significativo en relación con los demás componentes de la resistencia incluyendo la Resistencia del Aire, por lo que estos otros factores se agrupan denominándose Resistencia Residuales R_r .

Por otra parte, las Resistencias Accidentales se deben a efectos transitorios, fácilmente evitables y no las tendremos en cuenta para efectos de los cálculos, quedando la relación de la siguiente forma:

$$RT = R_{\text{agua}} + R_{\text{aire}} + R_{\text{accidentales}}$$

$$RT = R_f + \underbrace{R_{re} + R_o + R_v}_{\text{Resistencias Residuales (Rr)}} + R_{\text{aire}} + R_{\text{accidentales}}$$

Entonces la Resistencia Total será:

$$RT = R_f + R_r$$

Notas: Resistencia, Potencia y Eficiencia

- Para remolcar un buque (carena), la resistencia que habría que vencer sería la Resistencia Total.
- Al trabajo desarrollado en la unidad de tiempo para remolcar dicho buque (carena) lo denominaremos Potencia Efectiva (EHP), para una velocidad determinada.
- Si a ese buque (carena) lo hacemos navegar a la misma velocidad, sus máquinas principales han de desarrollar una potencia mayor llamada Potencia Indicada (IHP), verificándose siempre que:

$$IHP > EHP$$

- En un buque (carena) remolcado, no se considera la eficiencia de la Planta de Propulsión.
- En un buque (carena) autopropulsado, es necesario considerar la Eficiencia de la Planta de Propulsión.
- La resistencia por vencer para un mismo buque (carena), autopropulsado o remolcado a una velocidad determinada es necesariamente igual, pero la Potencia que debe desarrollar la Planta de Propulsión debe ser mayor que la Potencia Efectiva en relación con las pérdidas mecánicas en cada uno de sus componentes, determinadas por la Eficiencia de la Planta.
- La combinación entre Hélice-Carena tiene gran importancia en la propulsión, existiendo una hélice óptima para cada carena y una carena óptima para cada hélice.
- Las pruebas y los cálculos para la definición de la combinación entre Hélice-Carena se llevan a cabo en instalaciones de pruebas experimentales denominadas “Canal de Experiencias Hidrodinámicas”.

2.3 Potencia de la Planta de Propulsión

2.3.1 Canal de Experiencias Hidrodinámicas

Los Canales de Experiencias Hidrodinámicas son laboratorios especializados que sirven para efectuar cálculos de resistencia de cascos (carena) y ensayos en modelos a escala de buques, determinando mediante estos las características de la combinación de carena y hélice más apropiadas, así como los cálculos necesarios de Resistencia Total y Potencia de la instalación propulsora, con el fin de lograr un óptimo comportamiento hidrodinámico del buque en su conjunto. Estos trabajos contribuyen, además, a optimizar la eficiencia y el consumo energético de los buques, disminuyendo la resistencia al avance y mejorando el rendimiento de la hélice así como las condiciones de navegación, maniobra y seguridad.

Para llevar a cabo estos cálculos en los canales de experiencias hidrodinámicas, se realizan los siguientes tipos de ensayos:

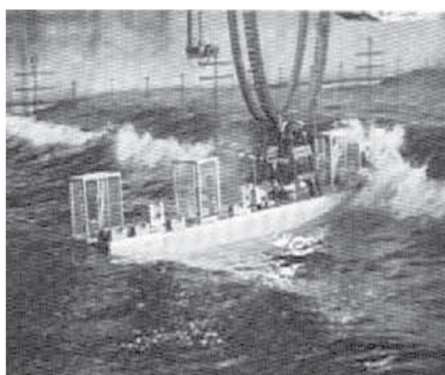
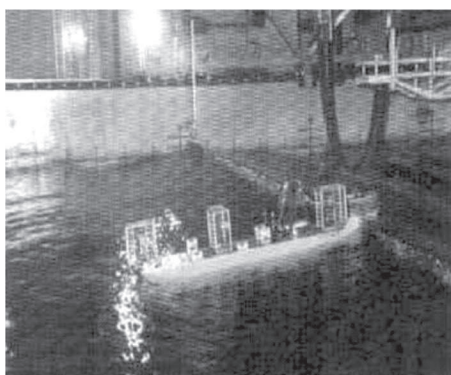
- a) **Ensayos de Remolque.** El modelo de la carena del buque es remolcado en el canal y se registra la resistencia que ofrece el agua a la marcha del modelo. Con este ensayo, se estudia la forma de la carena independientemente del sistema de propulsión.
- b) **Ensayos de Autopropulsión.** El modelo de la carena del buque se mueve con su propia hélice, accionada por un motor eléctrico dentro del propio modelo. En este ensayo, se analiza el comportamiento del binomio carena-hélice.

- c) **Ensayos de Propulsor Aislado.** En este ensayo, se determinan las características de la hélice trabajando sola, definiendo su forma y diseño más adecuado.

Adicionalmente, para efectuar las pruebas de maniobrabilidad de los modelos, se efectúan ensayos dinámicos para la evaluación del comportamiento de los modelos en diferentes condiciones de mar, cálculos de estabilidad, desarrollo de propulsores, desarrollo de diferentes tipos de timones, efectos de los apéndices de las carenas, entre otros. Los canales de experiencias hidrodinámicas cuentan además, con las siguientes instalaciones:

- a Canales de aguas tranquilas, donde se realizan ensayos de maniobrabilidad, resistencia y potencia.
- b Canales de dinámica del buque en los que se efectúa el análisis del comportamiento en la mar de los diferentes tipos de buques y artefactos flotantes.
- c úneles de Cavitación. En estos, se realizan los ensayos de la hélice, medidas de par y empuje, medidas de estelas nominales y efectivas, ensayos de cavitación, predicción de la erosión, medidas de fluctuaciones de presión, medidas y análisis de ruido, ensayos de apéndices, entre otros.

**Modelo que Efectúa Ensayos de Autopropulsión en el
Canal de Experiencias Hidrodinámicas**



2.3.2 Leyes de Semejanza de Froude

Para que los datos hallados en el canal de experiencias hidrodinámicas puedan ser útiles, es necesario establecer ciertas relaciones de semejanza. La semejanza más sencilla es la geométrica. Así, si dos cuerpos son semejantes,

sus dimensiones son proporcionales a una constante: (**f**) llamada razón de semejanza o factor de escala.

Por consiguiente, sus áreas y sus volúmenes son proporcionales al cuadrado y al cubo de la razón de semejanza, respectivamente; de allí, se desprenden las siguientes relaciones:

$$\mathbf{L1/L2 = f ; S1/S2 = f^2 ; V1/V2 = f^3}$$

L = Longitud
S = Superficie
V = Volumen
f = Factor de escala

Después de numerosos ensayos, en 1871 Froude estableció leyes confiables respecto a la resistencia que el agua ejerce al avance de los buques, planteó las leyes de similitud mecánica para dos buques geoméricamente semejantes, pero de diferentes dimensiones:

Entonces, si:

$$\frac{E1}{E2} = f$$

También se verifican las siguientes relaciones para un buque (1) y su modelo (2):

$$\frac{Rr1}{Rr2} = f^3 \qquad \frac{Rr1}{Rr2} = \frac{D1}{D2}$$

$$\frac{V1}{V2} = f^{1/2} \qquad \frac{V1}{V2} = \frac{D1}{D2}^{1/6}$$

E: Eslora
Rr: Resistencia residual
D: Desplazamiento
V: Velocidad

2.3.3 Potencia de Propulsión

La Resistencia Total que presenta el buque para moverse en el agua es vencida por otra fuerza igual y contraria denominada "Fuerza Propulsora". Esta fuerza puede provenir de una fuente de energía exterior (el viento) o también de una fuente de energía interior, Planta de Propulsión, la cual convierte la energía calorífica de un combustible en trabajo mecánico.

Potencia de propulsión se denomina, entonces, al número de unidades de potencia (HP, KW, CV) necesarios para mover un buque a una velocidad determinada.

La potencia de propulsión está dada en función de la velocidad y la resistencia y una fórmula general puede plantearse de la siguiente manera:

$$P = (V \cdot R)/1000$$

P: Potencia en kw

V: Velocidad en m/s

R: Resistencia en N, (cualquier resistencia, Rt , Rr , Rf).

Si consideramos el valor de la resistencia como la Resistencia Total:

$$R = RT$$

Entonces, la potencia será la Potencia Efectiva:

$$P = EHP$$

La fórmula general se podría plantear así:

$$\Rightarrow EHP = (V \cdot RT) / 1000$$

Tipos de Potencia de la Planta de Propulsión

La Potencia que genera la máquina principal de un buque no es la misma con la que el buque se desplaza debido a la eficiencia de cada uno de los elementos mecánicos que intervienen en el proceso de transformación y transmisión de la energía. Por este motivo, de acuerdo con el punto de aplicación de la potencia dentro de la planta de propulsión, la potencia tiene diferentes valores y toma diferentes nombres:

IHP: Potencia indicada o primaria, la que desarrolla la máquina en su interior.

BHP: Potencia al freno, potencia real de la máquina.

SHP: Potencia en el eje.

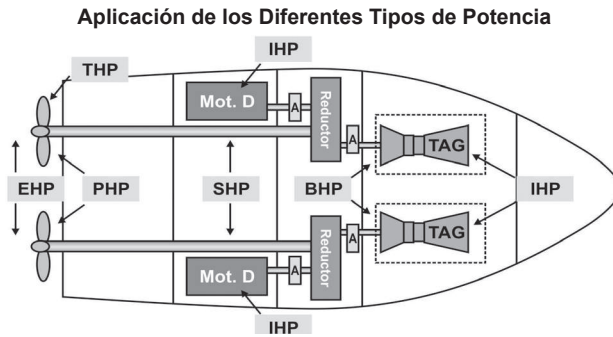
PHP: Potencia al propulsor o potencia que se entrega en el cono de la hélice.

THP: Potencia de empuje del propulsor o potencia que el propulsor entrega a la chumacera de empuje.

EHP: Potencia efectiva o potencia de remolque para una velocidad determinada.

Finalmente, en toda instalación propulsora, se verifica siempre que:

$$\mathbf{IHP > BHP > SHP > PHP > THP > EHP}$$



2.4 Eficiencia de la Planta de Propulsión:

La forma como el diseño de una planta de propulsión y el desarrollo tecnológico de sus diferentes componentes (Máquinas, Reductores, Ejes y Hélices) optimizan los procesos de transformación de la energía se denomina Eficiencia de la Planta de Propulsión.

Eficiencia de Propulsión: (n_p) Es el rendimiento total de la planta de Propulsión, teniendo en consideración la eficiencia de sus diferentes partes componentes, las pérdidas mecánicas que ocurren en cada uno de estos. Su fórmula general está dada por la siguiente relación:

$$\mathbf{n_p = EHP / IHP}$$

Esta relación se puede escribir también de la siguiente forma:

$$n_p = \underbrace{EHP/THP}_{n_c} \cdot \underbrace{THP/PHP}_{n_p} \cdot \underbrace{PHP/SHP \cdot SHP/BHP}_{n_t} \cdot \underbrace{BHP/IHP}_{n_m}$$

Donde:

- $n_c = EHP / THP$ = Eficiencia de Carena
- $n_p = THP / PHP$ = Eficiencia del Propulsor (Hélice)
- $n_t = PHP / SHP \cdot SHP / BHP$ = Eficiencia de Transmisión
- $n_m = BHP / IHP$ = Eficiencia Mecánica

Finalmente, la expresión quedaría así:

$$\mathbf{n_p = n_c \cdot n_p \cdot n_t \cdot n_m}$$

Eficiencia de Carena: (n_c) Es la eficiencia del diseño de la carena, obra viva del buque, y depende de la forma hidrodinámica del casco y de su rugosidad (Coeficiente de Fricción). Para su cálculo, se pueden utilizar las siguientes relaciones:

$$\mathbf{n_c = \frac{EHP}{THP} \quad \begin{array}{l} \text{Potencia efectiva} \\ \text{Potencia del Propulsor} \end{array}}$$

$$\mathbf{EHP = (RT \cdot V) / 1000}$$

$$\mathbf{THP = (R \cdot Va) / 1000}$$

Finalmente la eficiencia de carena sería:

$$\mathbf{n_c = (RT \cdot V) / (R \cdot Va)}$$

V = Velocidad del buque

RT = Resistencia total a la marcha

R = Empuje de la hélice sobre el agua

Va = Velocidad media del agua en la hélice

Eficiencia del Propulsor (n_p): Depende del diseño de la o las hélices y de la combinación entre la hélice y la carena. Se puede asumir, en general, para una hélice bien diseñada:

$$\mathbf{n_p ; \text{ entre } 0.60 \text{ y } 0.70}$$

Eficiencia de Transmisión (n_t): Depende del diseño de reductor, del eje de propulsión y del tipo y cantidad de descansos. Se puede asumir como valor general:

$$\mathbf{n_t ; \text{ entre } 0.94 \text{ y } 0.96}$$

Eficiencia Mecánica (n_m): Depende del tipo de máquina o motor principal: Motores Diésel, Turbinas de Vapor o Turbinas a Gas. Toma diferentes valores, por ejemplo: Para Motores Diésel (sin sobrealimentación):

$$\mathbf{n_m = 0.80 \quad (\text{cuatro tiempos})}$$

$$\mathbf{n_m = 0.86 \quad (\text{dos tiempos})}$$

Para Turbinas de Vapor o Gas:

η_m entre 0.85 y 0.90

2.5 Poder Calorífico y Consumo de Combustible

Poder Calorífico es la cantidad de energía (en forma de calor) desprendida al producirse la reacción química de "Combustión Completa" de una unidad de masa de combustible. Es la característica más importante de un combustible y sirve para efectuar cálculos de consumo y potencia de una instalación propulsora; expresa la energía máxima que puede liberar la unión química entre el combustible y un comburente.

Este calor, también llamado Capacidad Calorífica, se mide en Joule o julio, caloría o BTU, dependiendo del sistema de unidades.

En el siguiente Cuadro, se presentan los valores de los poderes Caloríficos de los principales combustibles utilizados en propulsión naval:

Poderes Caloríficos de Algunas Sustancias Combustibles

Combustible	MJ/kg	kcal/kg
Gas natural	53,6	12 800
Propano Gasolina Butano	46,0	11 000
Diésel	42,7	10 200
Residuales	40,2	9 600
Carbón	32,6	7 800
Alcohol de 95°	28,2	6 740

CAPÍTULO 3

PLANTAS DE PROPULSIÓN CON TURBINAS A VAPOR

3.1 Ciclos Termodinámicos de las Plantas a Vapor

Desde que los buques comenzaron a contar con máquinas para su propulsión, el vapor ha constituido un elemento fundamental en el desarrollo de la propulsión naval. En la actualidad, a pesar que las plantas de vapor tradicionales han sido desplazadas como sistema de propulsión en los buques de las principales escuadras, los principios del vapor todavía se encuentran vigentes en las grandes y sofisticadas plantas de propulsión con reactores nucleares de los portaaviones y submarinos balísticos. El presente capítulo tiene por finalidad explicar cómo son aplicados los principios termodinámicos del “Ciclo de Vapor” en una planta de propulsión y describir los principales componentes mecánicos que hacen posible su funcionamiento: Calderas, Turbinas a Vapor y Condensadores.

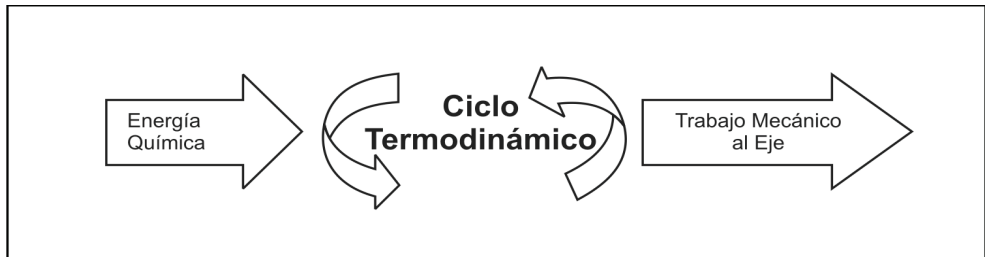
3.1.1 Ciclo Termodinámico

La Termodinámica es la ciencia que estudia las interrelaciones entre la energía térmica y la energía mecánica, y la forma como se produce la transformación de la primera produciendo trabajo mecánico en el interior de una máquina.

<p>Ciclo Termodinámico es la repetición de un proceso termodinámico sucesivamente, en un mismo orden de secuencia con la finalidad de producir transformaciones en la energía.</p>

Los Ciclos Termodinámicos pueden ser clasificados en ciclos abiertos y ciclos cerrados. Un ciclo abierto es cuando el fluido de trabajo es tomado y descargado al exterior; un ciclo cerrado es cuando este fluido es reciclado dentro del sistema.

Mediante un Ciclo Termodinámico, las plantas de propulsión de los buques convierten la energía química de los combustibles fósiles en trabajo mecánico; para ello, debe cumplirse con las Leyes de la Termodinámica:



1° Ley de la Termodinámica, “Ley de la Conservación de la Energía”: Establece que, si se realiza trabajo sobre un sistema o éste intercambia calor con otro, la energía interna del sistema cambiará, es decir, que el total de la energía que entra a un sistema es igual al total de energía que sale del sistema. Esta ley permite definir el calor como la energía necesaria que debe intercambiar el sistema para compensar las diferencias entre trabajo y energía interna.

“Cuando una cantidad de energía térmica desaparece, aparece una cantidad equivalente de energía eléctrica, química, o mecánica” (Enunciados de Mayer, Joule y Helmholtz).

2° Ley de la Termodinámica: Referida a la proporción de energía térmica disponible que puede ser convertida en energía mecánica. Esta ley regula la dirección en la que deben llevarse a cabo los procesos termodinámicos y, por lo tanto, considera la irreversibilidad de los procesos. Esto significa la imposibilidad de convertir completamente toda la energía de un tipo en otro sin pérdidas.

“La transformación de calor en trabajo depende de la gradiente de temperatura y de la transferencia de calor a un nivel de temperatura menor” (Clausius).

“No existe ningún dispositivo que, operando por ciclos, absorba calor de una única fuente y lo convierta íntegramente en trabajo” (Kelvin)

De acuerdo con estos conceptos, para que un ciclo termodinámico pueda ser desarrollado en la planta de propulsión de un buque y se logre obtener energía mecánica a partir de una fuente térmica, es necesario que se den ciertas condiciones, como:

- a) Que exista un fluido de trabajo, el cual proporcione el medio de transporte de la energía térmica para que esta pase de una parte del sistema a otra. (Agua-Vapor-Gases de Combustión).
- b) Que exista una fuente de calor; En este caso, el combustible empleado constituye la fuente gracias al Poder Calorífico latente que contiene.

- c) Que exista un dispositivo o máquina capaz de poder convertir una parte de la energía térmica en trabajo mecánico. (Máquina Térmica: Turbina a Vapor, Motor Diésel, Turbina a Gas).
- d) Que exista un reservorio, que se encuentre a una temperatura menor que el de la fuente, hacia el cual pueda fluir el calor remanente. (El Condensador).
- e) Que exista una bomba que devuelva la sustancia de trabajo a la fuente de calor para repetir el ciclo. (Bomba de alimentación de agua).

3.1.2 Ciclo Rankine o Ciclo de Vapor

El ciclo termodinámico cerrado, desarrollado en las Plantas de Propulsión a Vapor con condensador de los buques de guerra, es el Ciclo Rankine o Ciclo Cerrado de Vapor.

En este ciclo, primero se comprime reversible y adiabáticamente agua, inicialmente a baja temperatura y presión mediante una bomba, hasta llegar a la presión de trabajo.

En la caldera, esta agua se convierte en vapor al añadirse calor, quemando combustible en su interior. Posteriormente, este vapor previamente recalentado se envía a las turbinas, donde se acelera y expansiona, produciendo trabajo mecánico. En la siguiente Fase, este vapor trabajado se condensa y se convierte nuevamente en agua para ser reintroducida a la caldera con ayuda de la bomba de alimentación.

El Ciclo Rankine vs. el Ciclo Carnot

El ciclo de vapor planteado originalmente por Sadi Carnot fue el ciclo reversible del vapor, sin condensador también conocido como "Ciclo Carnot, el cual consta de cuatro fases:

- 1ª Fase: Compresión adiabática
- 2ª Fase: Expansión isotérmica a alta temperatura
- 3ª Fase: Expansión adiabática
- 4ª Fase: Compresión isotérmica a baja temperatura, regreso a la primera fase y repetición del ciclo.

La principal razón por la cual no se aplica este ciclo en las plantas a vapor está relacionada con el bombeo del agua de alimentación, ya que es muy difícil construir una bomba para sacar la mezcla de líquido y vapor a la salida de la turbina y suministrar agua a la entrada de la caldera; es más sencillo en la práctica condensar todo el vapor y manejar solo el líquido en la bomba.

Otro aspecto del ciclo Carnot para tener en cuenta es el sobrecalentamiento del vapor. En el ciclo Rankine, el vapor se sobrecalienta a presión constante; en el ciclo Carnot, todo el calor se transfiere a temperatura constante, lo cual significa que el calor debe transferirse al vapor a medida que se expande produciendo trabajo adicional. Este proceso es también difícil de llevar a la práctica.

El ciclo Rankine, a pesar de tener una eficiencia menor que el ciclo Carnot con las mismas temperaturas máximas y mínimas, considera condensar el vapor remanente para manejar solo líquido saturado en la bomba de alimentación y sobrecalentar el vapor a presión constante.

Fases del Ciclo de Vapor

El Ciclo Rankine de Vapor completo comprende las siguientes fases:

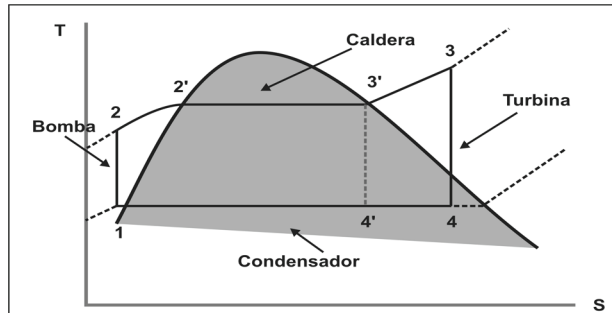
Generación (2-3): En la caldera, se le transfiere calor al agua, a presión constante, quemando algún tipo de combustible; esta interacción térmica eleva la temperatura del agua hasta la de saturación. Después de la evaporación, un incremento adicional de calor recalienta el vapor a una temperatura mayor, generando vapor súper-calentado.

Expansión (3-4): En esta fase, se permite al vapor súper-calentado que se expanda reversible y adiabáticamente en una máquina de vapor (Turbina) hasta la presión de ingreso al condensador.

Condensación (4-1): La condensación se realiza en el Condensador Principal a presión constante, eliminando el calor remanente del vapor de agua trabajado en las turbinas, mediante agua fría de mar.

Realimentación (1-2): El vapor ya condensado entra, entonces, en la bomba de alimentación en forma líquida y es introducido nuevamente en la caldera y el ciclo se repite una y otra vez.

Diagrama T-S Del Ciclo de Vapor Rankine



3.1.3 Componentes Mecánicos de un Ciclo a Vapor

Para que el ciclo de vapor Rankine pueda llevarse a la práctica, en un sistema de propulsión para buques, es necesario diseñar una planta, la cual debe incluir componentes mecánicos, que desarrollen las diferentes fases del ciclo. Cada uno de estos, a su vez, debe tener características particulares (las que serán descritas más adelante). Estos componentes son los siguientes:

a) Una Caldera, la cual quema algún tipo de combustible fósil para producir calor y generar el vapor requerido. Cuenta, además, con economizadores y re-calentadores.

b) Las Máquinas Principales, conformadas por un grupo de turbinas a vapor de diferentes características (de alta presión, de baja presión, de crucero y de marcha atrás) cuya finalidad es aprovechar de manera más eficiente el vapor.

c) El Condensador Principal, que trabaja con presión de vacío, para lo cual cuenta con un "eyector de aire" y tiene la función de condensar el vapor a la salida de la turbina.

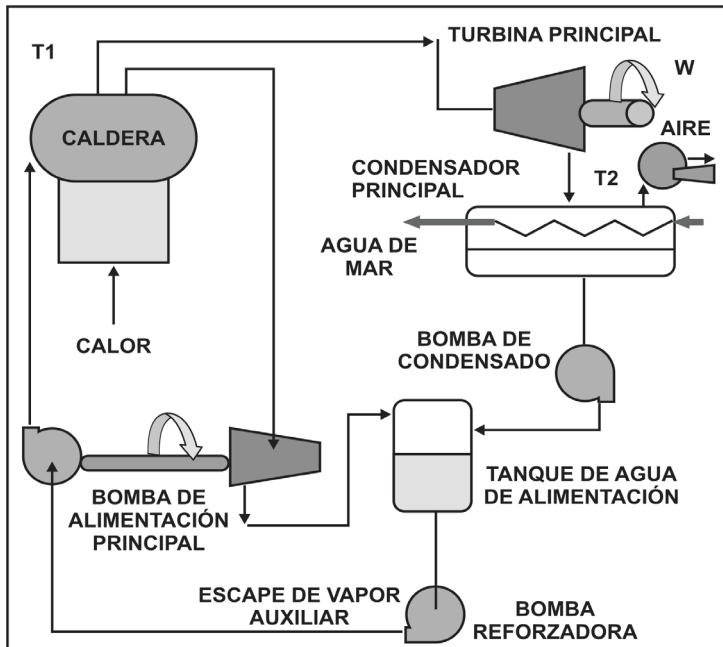
d) La Bomba de Condensado, que extrae el líquido saturado del condensador, también denominado "condensado".

e) El Tanque de Nivel o Tanque Des-aireador, el cual tiene la función de reposar el líquido saturado extraído del condensador hasta convertirlo en agua de alimentación.

f) El Tanque de Agua de Alimentación, cuya función dentro del ciclo consiste en mantener un volumen de agua suficiente que asegure su funcionamiento continuo.

g) La Bomba de Alimentación, que extrae el agua del tanque de alimentación y la introduce en la caldera para reiniciar el ciclo.

Ciclo Cerrado de Vapor



3.1.4 Variantes del Ciclo de Vapor Ranking

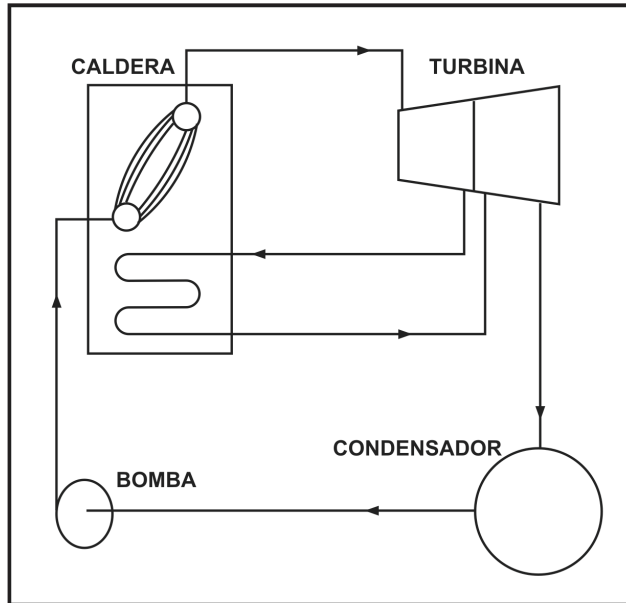
Existen variaciones en el ciclo original de vapor, las cuales consideran adicionar algunos componentes con la finalidad de mejorar el rendimiento o alguna condición en el ciclo, y son utilizadas en ciertas aplicaciones particulares.

Las principales variantes del ciclo de vapor son las siguientes:

Ciclo de Vapor con Recalentamiento Intermedio

En esta variante, el vapor se expande hasta una presión intermedia en la turbina y luego regresa a la caldera, donde es recalentado para luego ser expandido nuevamente en las últimas etapas de la turbina. (Ver diagrama)

El ciclo de vapor con Recalentamiento Intermedio incrementa ligeramente el rendimiento al existir ganancia por el recalentamiento del vapor, ya que el promedio de temperatura a la cual el vapor se suministra, se eleva, pero también evita la humedad excesiva en las etapas de baja presión de la turbina; esta es la ventaja principal de esta variante.

Ciclo Rankine con Recalentamiento Intermedio

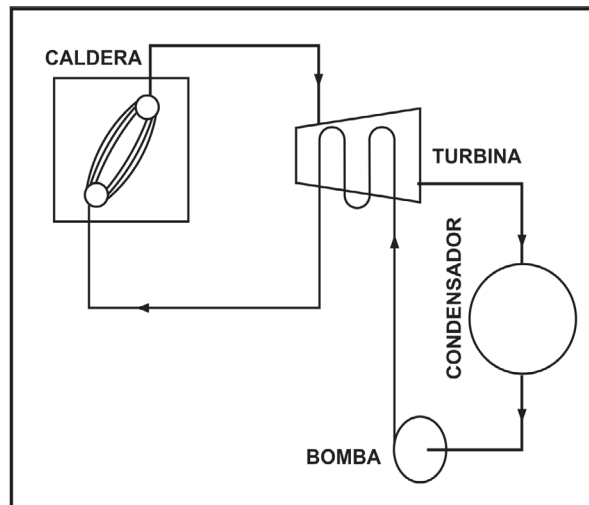
Ciclo de vapor con Regeneración Intermedia

Esta variante considera hacer circular el líquido saturado (agua) obtenido a la salida de la bomba de condensado, por una camiseta dispuesta alrededor de la turbina, en sentido contrario a la dirección del vapor que fluye por su interior, de tal manera que posibilite la transferencia de calor del vapor que está expansionándose en la turbina al agua; con esto, se logra un incremento de temperatura antes de su ingreso a la caldera.

Este ciclo Regenerativo Ideal incrementa el rendimiento térmico de una planta a vapor, pero no es práctico a bordo, debido a que:

- a) Por razones prácticas, no sería posible efectuar la transmisión de calor del vapor al agua de alimentación dentro de la turbina y
- b) La humedad contenida en el vapor que sale de la turbina aumentaría considerablemente como resultado de la transmisión de calor y esto afectaría los álabes de las turbinas.

Un ciclo regenerativo práctico implicaría la extracción de una parte del vapor que se ha expandido parcialmente en la turbina para ser usado en calentadores de agua de alimentación antes de ingresar a la caldera, es decir, una especie de economizador.

Ciclo Rankine con Regeneración Intermedia**Resumen**

El Ciclo Carnot es un ciclo termodinámico teórico difícil de llevar a la práctica. Las Plantas de Vapor funcionan tomando como base el Ciclo Rankine.

Las fases de un Ciclo Rankine en una planta de vapor son:

- Generación (Caldera)
- Expansión (Turbinas)
- Condensación (Condensador Principal)
- Realimentación (Bomba de Alimentación)

Las variantes del ciclo Rankine son:

- Con recalentamiento Intermedio (Aumenta la eficiencia y reduce la humedad en las últimas etapas de expansión de la turbina)
- Con regeneración intermedio

3.2 Componentes de las Plantas de Propulsión a Vapor**3.2.1 Calderas Navales**

Una caldera es el elemento mecánico en el cual se lleva a cabo la fase de generación del ciclo a vapor; es decir, constituye el lugar donde se produce la

combustión de un combustible fósil convirtiendo la energía química de este en calor, que mediante diferentes procesos es transferido al agua, la que, a su vez, por efecto de esta adición de calor se transforma en vapor, que es enviado hacia las turbinas, con determinadas características de presión, temperatura, entropía y entalpía.

3.2.1.1 Procesos Funcionales que ocurren en las Calderas

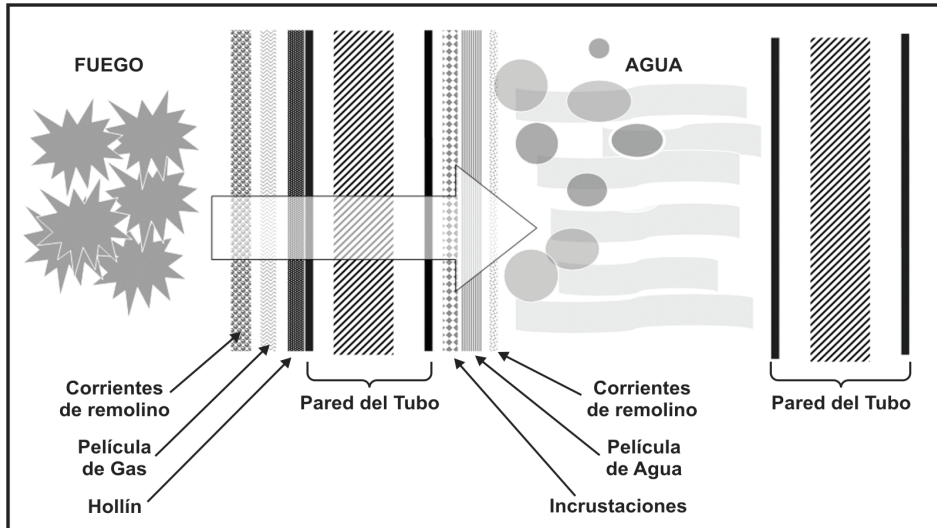
Para lograr su finalidad, una caldera debe ser capaz de llevar a cabo tres procesos físicos fundamentales:

- a) **La Combustión:** Este proceso consiste en introducir combustible y aire al hogar de la caldera y, mediante unos componentes especiales denominados quemadores, producir su combinación y combustión generando con esta reacción química el calor necesario. Este proceso requiere un suministro continuo de aire para asegurar la combustión completa del combustible en las diferentes condiciones de operación. Por otra parte, el diseño del hogar y la estructura de la caldera deben evitar en lo posible las pérdidas del calor y facilitar su transferencia al agua para optimizar el proceso.
- b) **La Transferencia de Calor:** El calor generado por la combustión es transferido al agua, a través de las paredes de los tubos de generación, lo cual produce que esta se convierta en vapor.

Este proceso de transferencia se da por la radiación del calor de los gases de la combustión en forma de ondas hacia los tubos generadores. A través y dentro de estos tubos, la transferencia se da por conducción; es decir, el calor se transmite de una parte a otra de la sustancia por vibración de sus moléculas y, además, por convección, ya que el fluido más frío y pesado tiende a caer y desplazar al fluido más caliente que se dirige hacia la parte superior produciendo la circulación del agua y vapor en el interior de la caldera.

Existe, en este proceso, resistencia a la transferencia de calor, resistencia a la convección a través de las capas de estancamiento de gases de combustión en la parte interior del hogar y en las capas de estancamiento de agua y vapor en el interior de los tubos. Además, existe resistencia a la conducción por la pared metálica de los tubos y por el hollín y las incrustaciones que se adhieren a estos. Este proceso se representa en el siguiente diagrama:

Proceso de transferencia de calor
en los tubos generadores de una caldera (corte seccional)



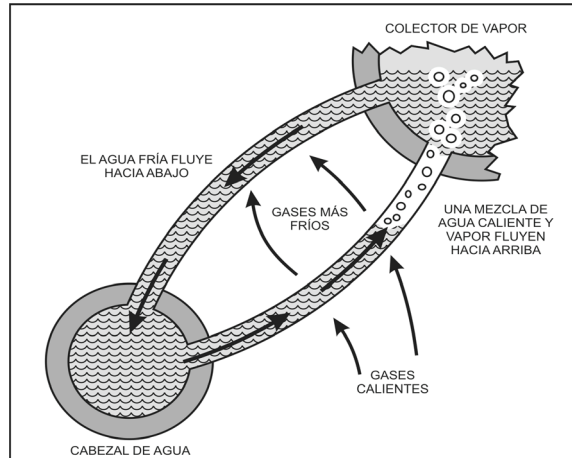
Para mejorar la transferencia de calor, es necesario que las superficies del lado de los gases y del lado del agua se encuentren limpias de hollín e incrustaciones y además se debe reducir al mínimo el espesor de las películas de estancamiento de gases y agua-vapor. Esto último se logra aumentando la velocidad del flujo de los gases de la combustión y aumentando la velocidad de circulación del agua y del vapor con el objeto de remover o romper estas las películas.

c) La Circulación del Agua y del Vapor: El diseño de una caldera debe facilitar el flujo de agua y vapor en su interior para la transferencia eficiente y continua de calor. Esta circulación puede ser de las siguientes maneras:

Circulación Natural: Ocurre cuando la circulación del agua-vapor a través de los circuitos de la caldera depende única y exclusivamente de la diferencia de densidades entre el agua relativamente fría que desciende y el agua o vapor relativamente caliente que asciende. Esta circulación natural puede ser, a su vez, libre o acelerada:

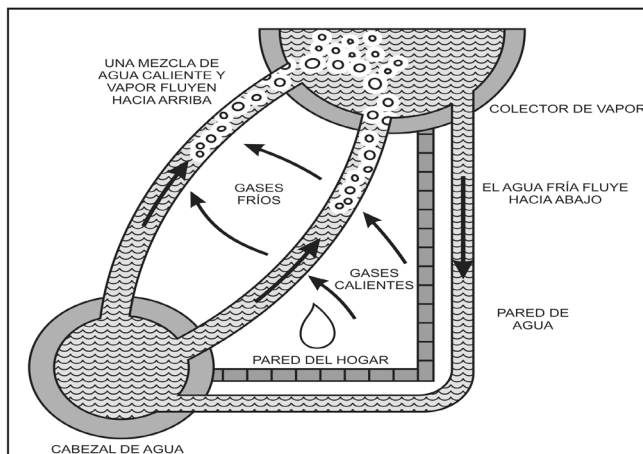
- Circulación Libre, cuando los tubos reciben agua del cabezal inferior y, por su posición inclinada, descargan una mezcla de agua caliente y vapor al cabezal superior. Esto se debe a que los tubos reciben el calor de los gases que calientan el agua que tienen en su interior y a la diferencia de densidades.

Circulación Natural Libre



- **Circulación Acelerada**, cuando el agua de alimentación entra a la caldera por el colector superior y desciende al inferior a través de unos tubos más fríos y de mayor diámetro que los tubos generadores, llamados “tubos descendentes”, los cuales están instalados en la parte exterior de la caldera, rodeando el hogar a fin de ayudar a la circulación del agua en su movimiento descendente. El agua caliente y el vapor retornan al colector por el interior de los tubos generadores. Debido al mayor ángulo de inclinación de estos tubos, el régimen de circulación se acelera por la tendencia a subir del vapor y el agua caliente a ocupar la parte superior. Las Calderas Navales son de este tipo.

Circulación Natural Acelerada



- Circulación Forzada: En este caso, la circulación es efectuada por medio de bombas, externas a las calderas, que mantienen un flujo continuo de agua. Este tipo de circulación no es empleado generalmente en instalaciones navales.

En este proceso, la cantidad de agua de alimentación suministrada a la caldera debe ser, en todos los casos, igual a la de vapor generado.

3.2.1.2 El Vapor

El vapor de agua es agua en estado gaseoso que se emplea como fluido de trabajo para generar energía en una planta a vapor. Por este motivo, las técnicas de generación, el uso y el estudio del vapor de agua son de gran importancia para entender y optimizar estos procesos.

El punto de ebullición del agua a la presión del nivel del mar es de 100 °C; a esa temperatura, la adición de 226 julios de calor por kilogramo de agua la convierte en vapor a la misma temperatura. Cuando el agua está sometida a una presión mayor, el punto de ebullición crece progresivamente de acuerdo con la ley de Boyle-Mariotte. Existe, entonces, una relación directa entre la presión y la temperatura de ebullición del agua.

El vapor de agua puro es un gas invisible; sin embargo, cuando el agua hierve, el vapor arrastra pequeñas partículas de agua, y puede verse de color blanquecino; de la misma manera, cuando se expulsa vapor de agua seco a la atmósfera más fría, parte de ese vapor se enfría y se condensa tomando el mismo color blanquecino.

Cuando el vapor se encuentra exactamente en el punto de ebullición que corresponde a la presión existente se lo denomina vapor saturado; pero, si se lo calienta por encima de esta temperatura, se produce el llamado vapor seco o sobrecalentado.

El "Vapor Saturado". Es vapor a la temperatura de ebullición del líquido, es decir, es el vapor que se desprende cuando el líquido hierve; por lo tanto, es un vapor que está a punto de condensarse. En esta fase, la sustancia está toda como vapor; pero, al retirar calor o aumentar la presión, se generan inmediatamente gotas de líquido.

En una planta a vapor, el uso de este tipo de vapor traería como resultado:

- Enfriamiento y condensación del vapor a lo largo de las tuberías.
- Enfriamiento y condensación del vapor en las turbinas.
- Deterioro de tuberías y maquinarias por corrosión, debido a la humedad.
- Erosión de las partes internas de las máquinas y las tuberías al estar sometidas al impacto de partículas de agua líquida.

El “Vapor Sobrecalentado”. Es vapor de agua a una mayor temperatura que la del punto de ebullición a su presión correspondiente; por lo tanto, ya no está a punto de condensarse o de formar pequeñas gotas de líquido si pierde algo de calor. Se obtiene añadiendo más calor al vapor saturado; en las calderas, esto se logra con secciones de recalentamiento adicionales denominadas “Re-calentadores”, que hacen pasar el vapor saturado nuevamente por tubos expuestos a los gases calientes del proceso de combustión.

Existen diferentes tipos de “re-calentadores”, como se verá más adelante. El uso de este tipo de vapor en las plantas de propulsión a bordo tiene las siguientes ventajas:

- No existe la presencia de humedad que cause corrosión y/o erosión en las turbinas y tuberías.
- La pérdida de calor transmitida por las partes metálicas no es suficiente para bajar la temperatura hasta la de saturación y producir humedad.

3.2.1.3 Clasificación de las Calderas

Existen diversos criterios de clasificación para las calderas de vapor:

a) Por la situación relativa de los espacios de combustión y agua:

- Tubos de fuego (Piro-tubulares). Los gases de la combustión se encuentran en el interior de los tubos.
- Tubos de agua (Acuo-tubulares). Los gases de la combustión se encuentran fuera de los tubos y el agua es la que circula dentro de estos.

b) Por los métodos de circulación de agua. De acuerdo con la forma de circulación del agua y el vapor al interior de la caldera:

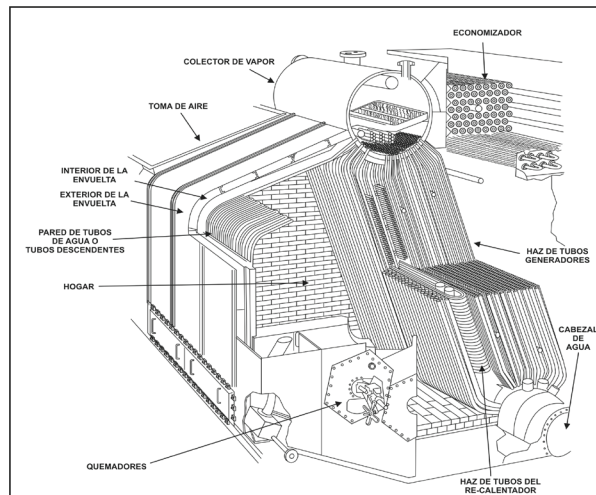
- Circulación natural: Libre o Acelerada
- Circulación forzada.

c) Por su forma, tipo de re-calentador y cantidad de hogares:

- De un solo hogar. En este tipo de calderas, los mismos gases de escape producen el calentamiento del vapor saturado y del sobrecalentado. Son denominadas generalmente tipo “A” o “D” según la forma en que se encuentran dispuestos el colector de vapor, los tubos generadores y los cabezales de agua. Cuentan con un re-calentador que se encuentra ubicado entre los tubos generadores, que se denominan “Inter-tubular” de convección no controlable.

- Dedos hogares. En estas calderas, existiendo hogares independientes separados por una pared formada por tubos descendentes de agua recubiertos de material aislante, conocida como “Pared de Agua”; se denominan tipo “M” por la forma en que se encuentran dispuestos el colector de vapor, los tubos generadores y los cabezales de agua. El recalentador con que cuentan es del tipo controlable y recibe el calor de los gases de la combustión principalmente por radiación.

Caldera Naval Tipo “D” con Recalentador Integral No-Controlable



3.2.1.4 Tipos de Recalentadores de Calderas

Como hemos visto anteriormente, los re-calentadores cumplen una función muy importante en el proceso de producir vapor sobrecalentado apto para ser empleado en las turbinas.

Existen diferentes tipos y formas de instalación y de aprovechamiento del calor de los gases en los re-calentadores.

De acuerdo con la forma de instalación en las calderas, pueden ser:

- **Integrales:** Instalados como una parte componente de la caldera.
- **Inter-tubular:** Instalado dentro de los tubos del haz de tubos generadores.

De acuerdo con la forma de cómo se lleva a cabo el control del proceso de recalentamiento del vapor, pueden ser:

- **No controlables:** El grado de recalentamiento a cualquier régimen de vaporización no puede cambiarse deliberadamente aumentando o

disminuyendo la intensidad de la combustión sin causar un aumento o disminución en la presión del vapor, la cual debe ser mantenida constante bajo cualquier condición.

- **Controlables:** El grado de recalentamiento a cualquier régimen de vaporización puede cambiarse deliberadamente aumentando o disminuyendo la intensidad de la combustión sin causar un aumento o disminución en la presión del vapor.

Los dos principales tipos de re-calentadores utilizados en las calderas navales son el re-calentador Integral controlable instalado en calderas de hogar dividido tipo "M" y el re-calentador Integral no-controlable instalado en calderas tipo "A" o "D".

Es fácil determinar que existen ventajas en las calderas de hogar dividido con re-calentador Integral controlable, principalmente relacionadas con el control de la temperatura y características del vapor sobrecalentado. Estas ventajas pueden resumirse en:

- El mejor control de la temperatura del vapor durante las rápidas maniobras requeridas en los buques de guerra, que es logrado variando la cantidad de los gases de combustión que van a ponerse en contacto con la superficie de recalentamiento, que en la práctica se da aumentando o disminuyendo la cantidad de quemadores en servicio en el hogar correspondiente al re-calentador.
- Por la economía de combustible que se logra en condiciones de velocidad de crucero debido al mejor control del recalentamiento.

Sin embargo, debido a las exigencias en cuanto a la simplicidad, poco peso y volumen, las calderas navales más modernas son del tipo "D" y tienen muy comúnmente re-calentadores integrales no-controlables inter-tubulares, en los cuales deben tenerse en cuenta ciertos factores de diseño que afectan el grado de re-calentamiento del vapor.

Estos factores de diseño por tenerse en cuenta son los siguientes:

- La posición del recalentador dentro de la caldera.
- El tamaño del área diseñada para la transferencia de calor del re-calentador.
- La disposición de los deflectores para los gases de la combustión que los dirijan eficientemente hacia los re-calentadores.
- El diseño y la forma del hogar.
- La posición y el tipo de los quemadores de petróleo.
- El tipo de recalentador instalado, ya que existe siempre riesgo de sobrecalentamiento en el recalentador cuando se está operando la caldera a muy bajos regímenes de vaporización.

Durante la operación de la caldera a pesar de que no se tiene control directo sobre el re-calentador, existen condiciones que afectan su operación, como el régimen de combustión, el exceso o defecto de aire en el proceso de combustión y en los gases del hogar, la temperatura con la que ingresa el agua de alimentación a la caldera o si se deriva vapor del colector para equipos auxiliares incrementando la demanda.

Es necesario también tener en consideración la calidad del vapor saturado que entra al re-calentador y la condición de las superficies de los tubos del re-calentador, ya que, si tiene hollín o incrustaciones, esto dificultará el proceso de transferencia en estos tubos y, por lo tanto, condicionará las características finales del vapor sobrecalentado.

Caldera para uso naval

Calderas de Tubos de Fuego

Ventajas

- Sencillez de construcción.
- Requieren menos atención durante su operación en lo que respecta a los cambios rápidos de presión.
- El uso de aguas no tratadas no causa grave daño en virtud a la baja temperatura a que operan.
- Facilidad de inspección, reparación y limpieza debido a los grandes espacios en el interior y la facilidad de acceso a los mismos.

Desventajas

- Peso excesivo por unidad de vapor generado, lo cual afecta la relación Peso-Potencia.
- Requiere relativamente mayor tiempo para elevar la presión a la presión de trabajo, incidiendo en el tiempo para poder poner en servicio la planta de propulsión.
- Falta de flexibilidad para maniobra, debido al tiempo de respuesta durante cambios bruscos de velocidad.
- Presión limitada de 300 libras/pulg², teniendo en consideración que una planta de propulsión de un buque de guerra requiere altas presiones y vapor sobrecalentado.
- Gran volumen y temperatura del agua desalojada en caso de una explosión, ruptura o impacto.

Calderas de Tubos de Agua

Ventajas

- Menos peso por unidad de potencia generada, lo cual favorece la relación Peso-Potencia de la planta en general.
- Facilidad de montaje y desmontaje a bordo, ya que son más pequeñas y ligeras.
- Se requiere menos tiempo para levantar presión a la presión de trabajo y tienen mayor flexibilidad en su operación para maniobrar con cambios de velocidad.
- Mayor seguridad en su operación con altas presiones de trabajo y alto grado de recalentamiento en el vapor sobrecalentado.
- Mayor eficiencia de operación para altos regímenes de generación de vapor gracias a la más completa y rápida circulación del agua y el vapor en su interior.

3.2.1.5 Capacidad de las calderas

Se denomina capacidad al régimen de producción de vapor del cual es capaz una caldera cuando opera bajo condiciones especificadas de agua de alimentación, combustible, suministro de aire y calidad del vapor al dejar la caldera. Esta capacidad depende de ciertas características, las cuales son:

a) La circulación del agua y vapor: Es la forma como la dinámica del agua y vapor en el interior de la caldera facilitan la transferencia del calor, que a su vez depende del:

- Régimen de liberación de calor o régimen de combustión, lo que origina la generación de vapor en los tubos.
- El diámetro de los tubos; cuando más pequeño, mayor será el área de la superficie de calefacción con respecto al volumen de agua contenida, y, por consiguiente, mayor será el régimen de vaporización y la proporción del vapor de agua en el tubo. Para aumentar el régimen de vapor generado, es necesario aumentar el área para la circulación descendente del agua; esto se realiza por medio de los tubos descendentes, que son tubos más anchos (tres o más pulgadas de diámetro).

b) Arrastre de humedad del vapor: El vapor, al romper la superficie del agua en forma muy violenta, arrastra grandes cantidades de partículas de agua que son llevadas con el vapor al tubo secador.

Para mantener un alto régimen de vaporización sin un excesivo arrastre de humedad, se instalan en el interior de las calderas separadores, deflectores y pantallas para separar la humedad del vapor antes de que este entre al tubo secador.

c) Régimen de combustión: Se denomina a la máxima cantidad de petróleo que puede quemarse correctamente y eficientemente en una caldera, y es limitado por:

- La cantidad de aire que puede forzarse hacia el interior del hogar.
- La capacidad de los quemadores para mezclar este aire con el petróleo.
- El volumen y la forma del hogar.

3.2.1.6 Características de Operación de las Calderas Navales

Como se explicó en capítulos anteriores, los buques de guerra exigen, de sus plantas de propulsión, características de operación particulares para poder cumplir con las misiones asignadas. En cuanto a las calderas navales, estas deben cumplir con requerimientos, tanto desde el punto de vista operacional como en aspectos relacionados con su operación y mantenimiento.

Estas características se pueden resumir en lo siguiente:

a) Facultad para levantar presión rápidamente. Se logra:

- Proveyendo una gran superficie de transferencia de calor (en los tubos generadores) en proporción al volumen de agua contenida, mediante el uso de una gran cantidad de tubos pequeños conectados entre los cabezales de agua y colector de vapor.
- Diseñando la caldera de tal manera que se logre una circulación acelerada de toda el agua contenida en su interior; esto es posible mediante el adecuado diseño de los tubos descendentes, tubos generadores, colectores de vapor y cabezales de agua.

b) Facilidad para conseguir rápidas variaciones en el régimen de vaporización. Se logra:

- Diseñando la caldera de tal manera que el volumen de agua contenido sea relativamente pequeño.
- Empleando un colector de vapor relativamente grande, para mantener una reserva de abastecimiento de vapor en caso de que su demanda aumente o para actuar como depósito que aloje el exceso de vapor en caso de que su demanda disminuya rápidamente.

c) Alto régimen de vaporización. Para generar una gran cantidad de vapor en el menor espacio y con el menor peso posible, se logra mediante:

- Una eficiente disposición de los tubos.
- Una amplia circulación de agua-vapor.
- Regímenes lo más alto posible de transferencia de calor de los gases de combustión al agua.

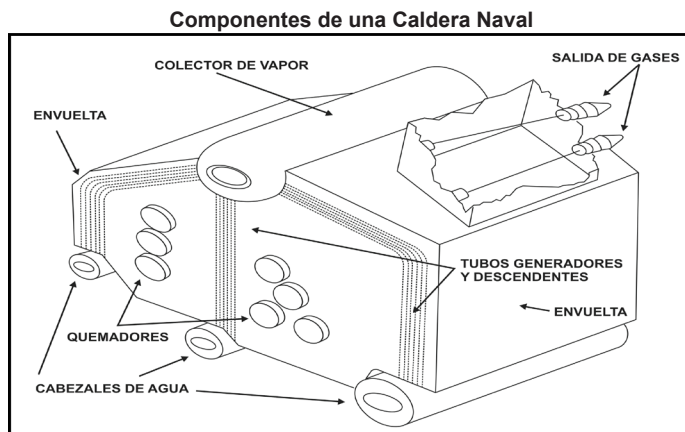
3.2.1.7 Componentes de una Caldera Naval

Como se planteó anteriormente, las Calderas Navales tienen la función de generar el vapor necesario para el funcionamiento de las turbinas, transfiriendo el calor disponible de los gases de la combustión producida en su interior.

Deben estar diseñadas para cumplir las exigencias operacionales de la planta de propulsión de un buque de guerra; por eso, su estructura y componentes deben tener características específicas.

Una Caldera básicamente está formada por un contenedor de forma cilíndrica denominado “colector de vapor” ubicado en la parte superior, que es por donde ingresa el agua de alimentación y por colectores cilindros más pequeños para el agua ubicados en la parte inferior denominados “cabezales de agua”. Estos elementos están unidos por tubos en los que se produce la transferencia del calor de los gases de la combustión y se genera el vapor. El vapor generado en estos tubos se dirige al colector superior y el agua desciende a los colectores inferiores por tubos de mayor diámetro facilitando el reemplazo continuo en los espacios dejados por el vapor generado. Todo esto se encuentra dentro de una estructura metálica denominada “envuelta”, que forma en su interior un espacio para que se produzca la combustión del petróleo denominado “hogar” que se realiza por intermedio de quemadores de petróleo.

La estructura general de una caldera naval se muestra en el siguiente diagrama:



A continuación, se describen las partes y componentes de una Caldera Naval especificando las funciones y características de cada una de ellas.

a) Colector de vapor

El colector o cabezal de vapor es el componente más importante de una caldera; tiene, por lo general, forma cilíndrica; está ubicado en la parte superior; y posee gran cantidad de orificios en su parte inferior, que sirven para conectarse con los tubos generadores.

Están confeccionados de acero de alto grado, fundido en hogar abierto o laminados, debido a las altas presiones que deben resistir. Existen tres métodos de construcción del colector:

- **Remachados:** Conformados por dos planchas de acero enrolladas en forma semicircular y luego estas dos secciones se unen entre sí para formar un cilindro remachado por sus pestañas internas y externas sobre la costura.
- **Soldados:** Las planchas de acero son enrolladas para darles forma y están unidas mediante soldadura eléctrica. Tienen ventaja sobre los remachados, ya que son de menor peso y mayor resistencia; esta resistencia se debe a la eliminación de gran número de orificios que se requieren para los remaches. Después de soldar las partes, se procede a someterlas a un tratamiento térmico a fin de eliminarles cualquier tensión interna; luego, se procede a taladrar los orificios donde se alojarán los tubos generadores y descendentes. Esto se hace con plantillas especiales a fin de obtener su alineamiento exacto.
- **Forjados:** Este método consiste en forjar un lingote sólido de acero con una cabeza hecha integral con el colector. Después de forjados el colector y la cabeza, son trabajados a máquina para obtener sus dimensiones finales y el extremo abierto es cerrado por una cabeza que ha sido forjada separadamente; esta se asegura por un cordón de soldadura. Estas cabezas están hechas con un registro de hombre que permite el acceso a su interior para su inspección, limpieza y reparación.

Funciones del colector:

Las funciones principales del un colector son las siguientes:

- Proporcionar un depósito para recibir y contener el agua de alimentación requerida para el adecuado funcionamiento de la caldera.
- Distribuir el agua de alimentación que ha sido recibida en los tubos generadores y descendentes conectados con los cabezales de agua.
- Acumular el vapor que se produce en los tubos generadores, proporcionando los espacios necesarios para la separación de la humedad del vapor antes de que este salga de la caldera.

b) Cabezales de agua

Están ubicados, por lo general, en la parte inferior de la caldera. Su construcción es similar a la de los colectores de vapor; la diferencia es un menor diámetro, y que los orificios para la conexión de los tubos están en la parte superior. Sus funciones principales son:

- Compensar la distribución de agua en los tubos generadores.
- Proporcionar un receptáculo para la acumulación de incrustaciones y otras materias sólidas que se puedan introducir o precipitar dentro del agua de alimentación. Estas son removidas de manera periódica por medio de las "extracciones de fondo".

c) Tubos Generadores

Son fabricados generalmente de una aleación especial de acero, no tienen costura y son altamente resistentes a la presión y temperatura. Los tubos que están más cerca al hogar son de mayor diámetro para asegurar la presencia de un volumen adecuado de agua y así protegerlos del intenso calor del hogar, ya que el agua en su interior sirve para refrigerarlos.

Estos tubos son asegurados al colector de vapor y a los cabezales de agua por medio de expandadores, los cuales, al expandir el tubo, aseguran las placas de los colectores y cabezales por medio de unas ranuras, que sirven para evitar que las altas presiones fuercen y aflojen los tubos.

El área de la superficie de transferencia de calor en una caldera es determinante para su régimen de evaporación y esta depende, principalmente, de la cantidad de tubos generadores que se puedan instalar. La forma, disposición e instalación de estos es de gran importancia debido a este factor. Los principales métodos para la instalación de estos los tubos son los siguientes:

Instalación en ángulo recto. Las perforaciones de los orificios para alojar los tubos en el colector se hacen en ángulo recto a la superficie del colector. En este caso, todos los tubos están doblados a diferentes curvaturas para cada hilera de tubos. Esta forma de instalación presenta las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Facilidad para taladrar orificios en la placa de tubos.
- Máximo número de orificios en un área dada en la placa de tubos, posibilitando la instalación del máximo número de tubos para un colector de diámetro y longitud dados

- Reduce la debilidad de la estructura del colector, debido a la cantidad de tubos.
- Fuerte ajuste estanco de los tubos tanto en el colector como en los cabezales.

Desventajas:

- El gran número de tubos de repuesto que deben llevarse a bordo, debido a la variación en curvatura de los tubos en las diferentes hileras de los haces de tubos.
- La dificultad que presenta el montaje y desmontaje de los tubos.
- La limpieza de los tubos es mucho más difícil que con otros métodos.

A pesar de estas desventajas este método de instalación es empleado en la mayoría de los diseños de las modernas Calderas Navales.

Con todos los tubos rectos. Todos los tubos son rectos, debido a que los orificios practicados en la superficie del colector están a diferentes ángulos. En algunos diseños, las dos hileras cercanas y lejanas al hogar pueden curvarse ligeramente en los extremos de manera que no entren a los colectores con un ángulo excesivamente agudo.

Ventaja: Prácticamente todos los tubos son rectos, lo que reduce el número de tubos de repuesto requeridos y facilita la limpieza y mantenimiento.

Desventaja: La principal desventaja de este método es la debilidad de la estructura del colector y que muy pocos tubos pueden ser instalados en un área determinada.

Con los tubos doblados en arco de círculo. Todos los tubos tienen el mismo radio de curvatura, pero varían en longitud para cada hilera; los tubos están instalados en los colectores en un plano a ángulo recto o aproximadamente.

Esta forma de instalación tiene las siguientes ventajas y desventajas:

Ventajas:

- Mayor facilidad del montaje de los tubos, los cuales pueden introducirse en los haces a través del colector de vapor, ya que los radios de curvatura de los tubos y el diámetro del colector de vapor son tales que el tubo puede retirarse a través del registro de hombre.
- Pocos tubos de repuestos se necesitan llevar a bordo, ya que todos los tubos son de igual curvatura; lo único que varía es su longitud.

- La fácil limpieza a comparación de las calderas con tubos de ángulo recto, ya que no tienen dobleces pronunciados.

Desventaja:

Debilidad de la estructura del colector y que muy pocos tubos pueden ser instalados en un cabezal.

d) Tubos Descendentes

Son tubos de acero sin costura, de diámetro mayor al de los tubos generadores; la cantidad y la distribución dependen del diseño y características de circulación del agua y vapor de acuerdo con el régimen de la caldera.

Los tubos descendentes están generalmente instalados entre la envolvente interior y la exterior para facilitar el descenso del agua relativamente fría.

e) Caballetes y Soportes

Las calderas a bordo están aseguradas a la estructura del buque por caballetes y soportes; cada cabezal de agua descansa sobre dos caballetes formados con vigas estructurales.

Generalmente, el caballete que está más próximo a la conexión de tubería de vapor es el que está asegurado rígidamente a su soporte, mientras el que está en la parte posterior posee un juego longitudinal para la dilatación y la contracción debido a los cambios de temperatura, lo cual hace que el caballete esté libre para deslizarse sobre el soporte.

f) Hogares

El propósito del hogar de la caldera es proveer un espacio en el cual se puedan combinar el petróleo y el aire para producir una combustión completa y eficiente, con la resultante liberación de calor.

Cuando la completa combustión del combustible no se realiza en el hogar, pero se realiza a medida que pasa por los haces de tubos, se dispone de menos tiempo para transferir el calor de los gases a las superficie de los tubos y, por consiguiente, la pérdida del calor por la chimenea aumenta; esto puede ocurrir, debido a que el hogar no tiene una adecuada altura, profundidad o anchura, lo cual origina disminución de la eficiencia de la caldera.

El hogar de una caldera consiste de una estructura de formas y planchas de acero, cubiertas por material aislante y refractario y suspendido a los colectores de agua por medio de ángulos de acero.

La estructura completa comprende:

- Una pared frontal, que se extiende desde el piso hasta el colector de vapor.
- Una pared posterior, que se extiende desde el piso al colector de vapor y a la hilera interior de tubos en cada haz tubular.
- Paredes laterales.
- Piso, que es el fondo plano del hogar.
- Los armazones, vigas y ángulos de acero que soportan el hogar y que, a su vez, son soportados por los colectores de agua.

Los hogares están recubiertos siempre con materiales aislantes y refractarios, que previenen pérdidas de calor proveyendo aislamiento térmico. Están constituidos principalmente por:

- Bloques Aisladores. Son elementos que dan forma a la estructura del hogar, pueden resistir temperaturas cercanas a los 1500 °F, pero no pueden estar expuestos a las llamas directamente.
- Ladrillos Aisladores. Son utilizados también para dar forma al hogar, pero resisten altas temperaturas, aproximadamente hasta 2500 °F si no están expuestos directamente a las llamas.
- Ladrillos Refractarios. Están elaborados por diversos elementos, de los cuales los más importantes son la arcilla de piedra calcinada, el sílice y la alúmina; pueden resistir temperaturas hasta de 3000 °F y tienen excelentes propiedades refractarias y cierta resistencia a las llamas.
- Plástico Refractario. Es usado para rellenar los espacios dejados por formas irregulares al interior del hogar, tales como las partes superiores de las paredes laterales debajo del colector de vapor, que son de forma cónica y para la instalación de los quemadores de combustible, entre otros.
- Pernos de Anclaje. Son usados para sostener los ladrillos y plásticos refractarios en lugares en los que las paredes son verticales o con cierto ángulo de inclinación.

g) Paredes de Agua

Solo las calderas con hogar dividido poseen “Paredes de Agua”, las cuales están conformadas por tubos y material refractario. Su función es separar los hogares del saturado y del sobrecalentado, facilitando, gracias al mayor diámetro de los tubos y al material aislante con que están recubiertos, el descenso del agua desde el colector de vapor

hasta los cabezales de agua, lo cual mejora la circulación de agua-vapor.

Los tubos de las paredes de agua que están parcial o completamente cubiertos de material refractario son generalmente del tipo llamado tubo empernado; es decir, son tubos de acero al que se han soldado pernos, que sirven para mantener el material refractario en su posición y absorber el calor de las paredes y transferirlo por conducción a los tubos.

h) Envolvertes

Una Caldera Naval está compuesta por dos envueltas: una interior y otra exterior que forman una especie de colchón de aire aislante. Su función es prevenir el escape de gases de la combustión y la pérdida de calor.

Estas envolvertes están hechas de planchas de acero y se construyen en secciones. Cuentan con tapas de registro y acceso para permitir la inspección, limpieza y reparación por parte del personal. Por su interior, circula el aire que va a ser utilizado en el hogar. Las envolvertes están aisladas en su interior con material refractario.

Ventajas de la doble envuelta:

- El aire es ligeramente recalentado por el calor que pasa a través de la envuelta interior desde el hogar, facilitando la combustión.
- La caldera puede alimentarse brevemente con aire de la doble envuelta durante ataques con gases químicos, biológicos o cuando el suministro de aire del exterior es interrumpido por algún motivo.
- Ofrece un sistema de protección contra la retro-flama, que se produce por la diferencia de presiones entre el interior y el exterior de la caldera al proporcionar un espacio intermedio de equilibrio de presiones.
- Las dobles puertas selladas al aire no son necesarias en las escotillas de acceso a las salas de calderas, debido a que dichas salas no se encontrarán con presión.
- Reduce los ruidos, producidos por la caldera, lo cual proporciona aislamiento acústico

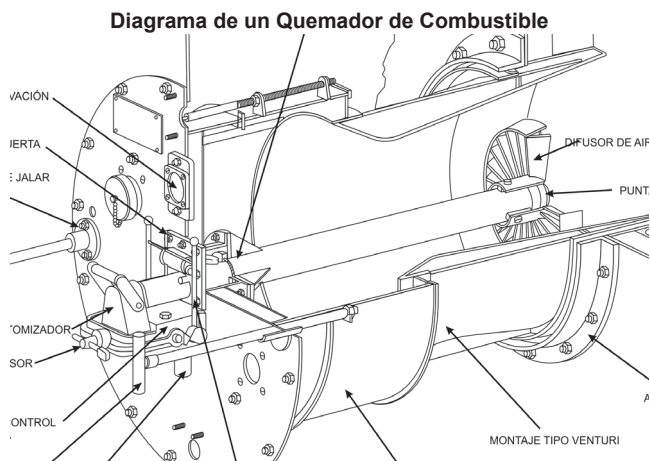
i) Desviadores o deflectores

Son de planchas de acero, que se colocan entrelazando los tubos en la trayectoria de los gases de la combustión con la finalidad de cambiar la dirección de estos para retardar o disminuir su velocidad y hacer que cedan la mayor parte de su calor para desviarlos sobre otras superficie,

para desviarlos y proteger áreas vulnerables a las altas temperaturas y para evitar las corrientes y turbulencias que puedan formarse.

j) Quemadores de combustible

Son los elementos utilizados para pulverizar el combustible y mezclarlo uniformemente con el aire proveniente de la doble envuelta. Están ubicados, generalmente, en la pared frontal de la caldera, direccionados hacia el hogar. Son de diferentes capacidades de acuerdo con el régimen de combustión requerido.



k) Recalentadores

Son tubos altamente resistentes a la temperatura y presión. Están fabricados generalmente de acero al cromo-molibdeno. Su función, como se explicó anteriormente, es recalentar el vapor saturado que ha sido extraído del colector de vapor para generar vapor sobrecalentado. Existen diversos tipos y diversas formas de acuerdo con su instalación y con la forma como permiten la transferencia de temperatura de los gases de la combustión.

l) Economizadores

Son tubos con proyecciones metálicas para aumentar la rápida transferencia de calor. Su función es absorber el calor remanente de los gases de la combustión antes de que estos sean expulsados al exterior por las chimeneas y calentar unos grados el agua de alimentación antes de su ingreso al colector de vapor, lo cual mejora la eficiencia térmica de la instalación.

Conexiones y accesorios de las Calderas Navales

Para que una instalación a vapor sea completa, debe contar con diferentes aditamentos que permitan su funcionamiento adecuado así como el control respectivo. Estos aditamentos son denominados conexiones y accesorios.

Accesorios son todos aquellos equipos que se instalan fuera de la caldera, por ejemplo, las bombas de agua de alimentación, los calentadores y filtros de combustible, los ventiladores y sopladores, entre otros.

Conexiones de una caldera es el término que se aplica a las partes que requieren las calderas para su adecuado trabajo y control.

En este trabajo, para una mejor comprensión y estudio, se han separado en dos grupos: conexiones internas y conexiones externas.

a) Conexiones Internas

Son aditamentos que van instalados dentro de los espacios de agua y vapor de la caldera, principalmente en el interior del colector de vapor. Su función principal es separar las gotas de agua arrastradas por el vapor y facilitar las funciones del colector.

Estas conexiones son las siguientes:

- Tubo Interno de Alimentación:

Es una tubería recta que corre a lo largo de la longitud del colector de vapor, a una distancia del fondo igual a $\frac{1}{4}$ del diámetro del colector. Posee orificios en la parte superior a todo lo largo, los cuales distribuyen el agua al colector proporcionalmente, previniendo la interferencia con la descarga del vapor y el agua que viene de los tubos generadores.

Uno de sus extremos es cerrado y el otro está conectado a la válvula check de alimentación o al economizador.

- Tubo Interno de Extracción:

Es una tubería recta que corre a lo largo del colector de vapor, colocada a $1\frac{1}{2}$ pulgadas de la superficie del nivel normal de agua, bajo del nivel. Se conecta a través de la cabeza del colector o pared, con una válvula de "extracción de superficie". Uno de sus extremos es cerrado y posee orificios a todo lo largo de la tubería, los cuales están practicados en la parte superior.

Opera cuando se desea quitar la grasa, espuma o disolver sólidos ligeros de la superficie del agua. Cuando la válvula se abre, el vapor fuerza al agua de la superficie hacia los orificios de la tubería para luego salir del colector; a esta operación se denomina extracción de superficie.

- Deflectores o Separadores de Vapor:

Son placas de acero perforadas en forma de laberintos, horizontales o casi horizontales, colocadas justo debajo de la superficie del agua. Su finalidad es asegurar la calidad del vapor generado, de tal manera que el vapor que pase sea solamente vapor y no arrastre con el agua.

- Separadores de Ciclón:

Son elementos cuya finalidad también es separar el agua del vapor. Están instalados dentro del colector de vapor con el fin de entregar vapor seco al tubo secador con un mínimo de agua reduciendo la posibilidad de arrastre.

Funcionan haciendo ingresar el vapor húmedo en forma tangencial al diámetro del separador. La fuerza centrífuga hace que el agua sea enviada al lado exterior del cuerpo del separador, y que el vapor, por ser más ligero y ayudado por medio de uno deflector, permanezca en el centro, para luego pasar por el depurador; entonces, el agua cae al fondo del separador y luego pasa al colector de vapor. A este tipo de separador de vapor también se le denomina separador primario.

- Placas separadoras o depuradoras de vapor:

Son placas de acero en forma sinusoidal, las cuales hacen cambiar de dirección al vapor; la humedad remanente contenida en el vapor es separada por este cambio continuo de dirección, lo cual hace que el agua resuma hacia el Colector y el vapor pase al tubo secador. A este elemento separador se le denomina también separador secundario.

- Tubo secador:

Está instalado longitudinalmente tan cerca como sea posible a la parte superior del colector de vapor. Consta de un tubo de acero cuyos extremos están cerrados al vapor del colector; en la parte superior, posee aberturas o agujeros en toda su longitud.

Al entrar vapor por estos agujeros, cambia de dirección repentinamente; esto trae como consecuencia la separación de la humedad del vapor por la fuerza centrífuga desarrollada en las partículas de agua. Unos pequeños agujeros se perforan

en el fondo del tubo para drenar el agua cuando la caldera está vaporizando a bajo régimen. En realidad, el tubo secador es un tipo de separador de vapor.

- Placas Distribuidoras:

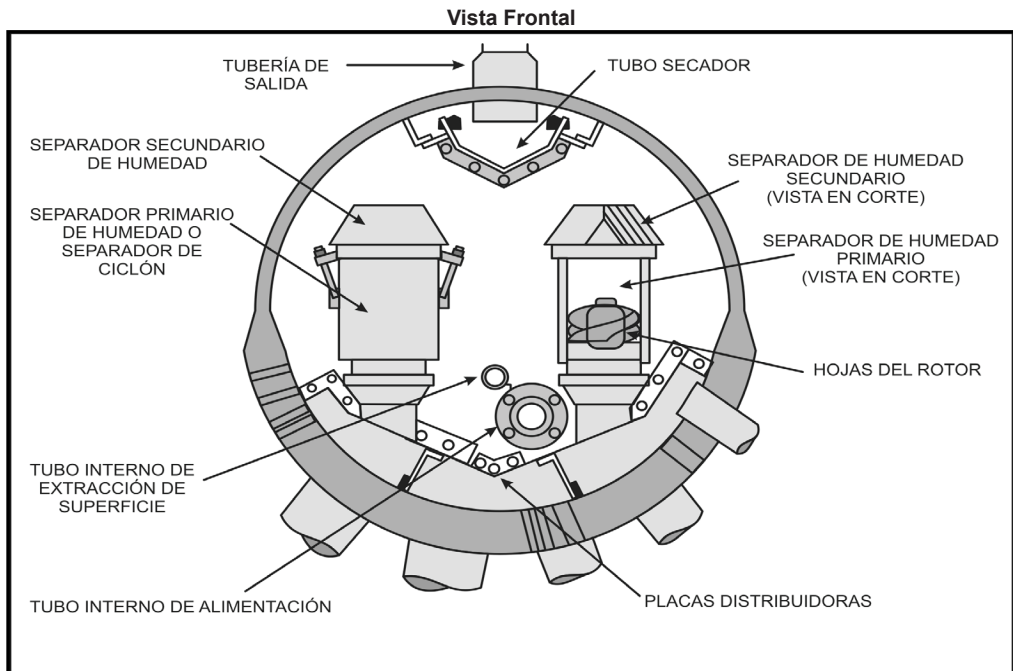
Previenen la acumulación de agua en los extremos del colector, debido al movimiento del buque. Estas placas van instaladas perpendiculares al eje del colector en la parte inferior de este. Se usan en calderas de colector atravesado; por eso, los colectores se instalan siempre sobre la línea de crujía del buque.

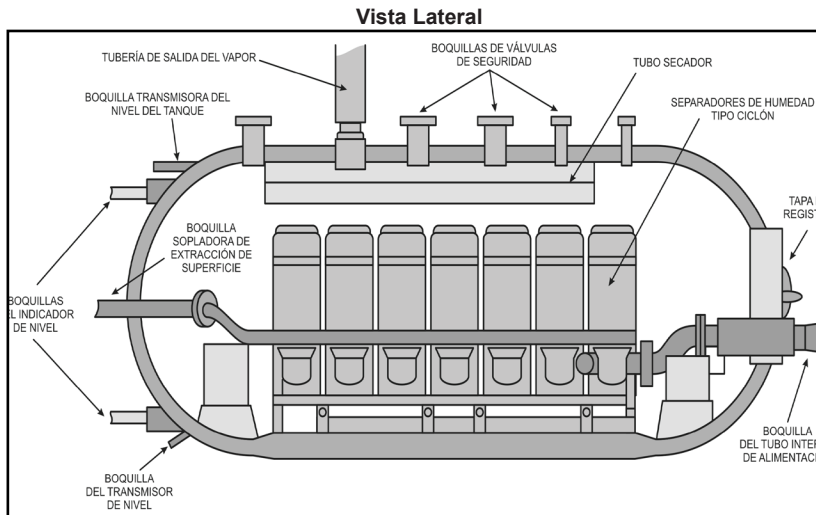
- Des-ren calentador:

Es usado únicamente en calderas con recalentador no controlable. Su función es disminuir un poco la temperatura del vapor sobrecalentado para ser utilizado en la maquinaria auxiliar. Está instalado a lo largo del colector de vapor bajo la superficie del agua; el vapor, al contacto con esta, disminuye su temperatura y luego se dirige a la tubería de vapor auxiliar.

En el diagrama siguiente, se representa un Colector de Vapor en vista frontal y lateral, en el cual se pueden apreciar las conexiones internas mencionadas.

Conexiones Internas del Colector de Vapor





b) Conexiones Externas

Están instaladas fuera de los espacios de agua y vapor de la caldera y cumplen diferentes funciones. Están constituidas por válvulas e instrumentos de control de presión, temperatura y nivel, principalmente:

- Válvula de Vapor Principal:

Está colocada a la salida del recalentador, con el propósito de conectar o desconectar la caldera con la línea principal de vapor. Es una válvula del tipo globo, cuyo asiento se hace de una aleación altamente resistente a la erosión, llamada estelita. Posee un sistema de drenado y trabaja siempre abierta o cerrada.

- Válvula de Vapor Auxiliar:

Es una válvula de globo, de asientos de estelita de menor tamaño que la válvula de vapor principal, pero de construcción similar. Trabaja siempre abierta o cerrada.

Su función es conectar o desconectar la caldera de la línea de vapor auxiliar.

- Válvula de Alimentación Principal:

Es instalada en la caldera para permitir descargar agua de alimentación dentro del colector de vapor. En calderas con economizador, permite la descarga del agua de alimentación a la entrada del economizador.

- Válvula Check de Alimentación:

Se instala una válvula del tipo Check colocada entre la salida del economizador y la entrada a la tubería de alimentación. Esta válvula de una sola vía hace que el agua fluya en una sola dirección hacia la caldera, en caso suceda un desperfecto en el economizador.

- Válvula de Extracción de Superficie:

Es una válvula del tipo disco, conectada a la tubería interna de extracción de superficie del colector de vapor. El asiento y el disco están recubiertos con estelita para impedir la erosión de las superficies de su asiento.

Su función es dar paso al flujo de vapor para llevar a cabo el procedimiento de “extracción de superficie”.

- Válvula de Extracción de fondo:

Son válvulas de tipo globo o disco y asiento de estelita. Se encuentran instaladas en la parte inferior de cada cabezal de agua. Su función es efectuar la “extracción de fondo”, extrayendo de la caldera partículas precipitadas o depósitos sólidos acumulados en el fondo de los cabezales, lo que reduce la concentración de sales del agua. Esta formación densa es llamada lodo o fango.

- Válvulas de Seguridad:

Se instalan en todas las calderas para impedir que la presión sobrepase el límite de seguridad especificado. Están conectadas directamente al colector de vapor.

Estas válvulas requieren:

- Que la válvula se abra a su plena abertura a una presión definida.
- Que permanezcan abiertas hasta que la presión haya disminuido a la presión de trabajo de la caldera.
- Que cierren plenamente después de activarse y sin vibraciones.
- Que permanezcan perfectamente cerradas.
- Que sean de un número y tamaño suficiente para reducir la presión del colector de vapor a la capacidad máxima de la caldera cuando esta esté desconectada de la línea de vapor principal.

- Grifos de Aire (Válvulas atmosféricas):

Están localizadas en la parte más alta del colector de vapor. Son Válvulas de globo de alta presión. Su función principal es:

- Permitir la entrada de aire cuando se está vaciando la caldera.
- Permitir la salida de aire cuando se está llenando la caldera.

- Permitir la salida de aire cuando está generando vapor en el colector al encender la caldera por primera vez.
- Conexiones para extraer muestras para análisis:
Colocadas entre las válvulas de extracción de fondo y el cabezal de agua, son válvulas tipo disco. Se usan para sacar muestras de agua de la caldera y efectuar pruebas químicas de esta.
- Indicadores de Humo:
Están Instalados en las calderas para permitir la observación de los gases de la combustión desde el interior de la sala de máquinas por medio de un juego de espejos y focos.
Se les llama comúnmente periscopio; en la actualidad, se usan sensores electrónicos colocados antes de la entrada a la chimenea.

El color del humo nos indicará si la combustión es completa o no es completa, (humo negro representa exceso de petróleo y humo blanco exceso de aire).
--
- Sopladores de Hollín:
Se encuentran instalados entre el haz de los tubos generadores en el interior de hogar de las calderas. Tienen la finalidad de efectuar limpiezas periódicas de los depósitos de hollín en los lados de fuego mientras estas se encuentren en servicio.
Para accionar este sistema, se usa vapor sobrecalentado. El soplador de hollín consta esencialmente de un tubo permanentemente instalado con toberas, que se pueden hacer girar 360°.
- Manómetros de vapor:
Están conectados al colector de vapor para indicarnos su presión; si hay re-calentador, se instalará uno a la salida de este para indicarnos también su presión.
- Manómetros de agua:
Nos indican a qué presión entra el agua de alimentación al colector de vapor, la cual debe ser mayor que la presión que existe dentro del colector en ese momento.
- Indicadores de nivel de agua:
Son instalados por pares en el colector de vapor. Tienen la función de indicar el nivel de agua en el colector antes, durante y después de que la caldera esté en servicio.
El nivel de trabajo de una caldera debe encontrarse siempre a la mitad de este indicador. Existen dos tipos:

- Tipo escocés o tubo de vidrio recocido: Para calderas de baja presión
- El de tipo columna de metal con una placa de vidrio en el frente y la parte posterior: Este tipo es empleado para calderas de alta presión.

Actualmente, existen dispositivos electrónicos asociados a los sistemas de agua de alimentación que cumplen esta función.

- Termómetros:

Su función es indicar la temperatura del vapor. Están instalados principalmente a la entrada y salida del recalentador.

- Alarmas de alta temperatura:

Tienen la función de indicar cuando el vapor sobrecalentado ha sobrepasado la temperatura máxima permitida en el recalentador sin que este sufra algún daño. Están ubicadas generalmente a la salida de este.

- Indicadores del flujo de vapor:

Instalados a la entrada y salida del re-calentador, indican el flujo de vapor a través de este para comprobar si es el adecuado o no para un determinado régimen de combustión.

- Reguladores automáticos de agua de alimentación:

Estos reguladores automáticos son necesarios para lograr un trabajo eficiente y seguro de la caldera.

Consiste en un conjunto de sensores y actuadores que conforman un sistema de alimentación de agua rápido y exacto al colector de vapor manteniendo siempre un nivel constante bajo diferentes condiciones de funcionamiento. Este depende del régimen de generación de vapor de la caldera, es decir, de la relación entre el agua contenida en la caldera y la cantidad de agua evaporada por unidad de tiempo. Tienen como ventajas:

- Mayor eficiencia de operación.
- Reduce el desgaste de las válvulas.
- Uniformidad en el control de la presión del vapor.
- Menos arrastre de agua.
- Operación continua en caso de personal herido o aturdido por explosiones.

- Indicadores para medir la presión de aire en el hogar:

Es un sensor de presión que se encuentra conectado a la doble envuelta de la caldera; nos indica la presión del aire antes de ingresar al hogar.

3.2.2 Turbinas a Vapor

3.2.2.1 Descripción y Principios Básicos de Funcionamiento

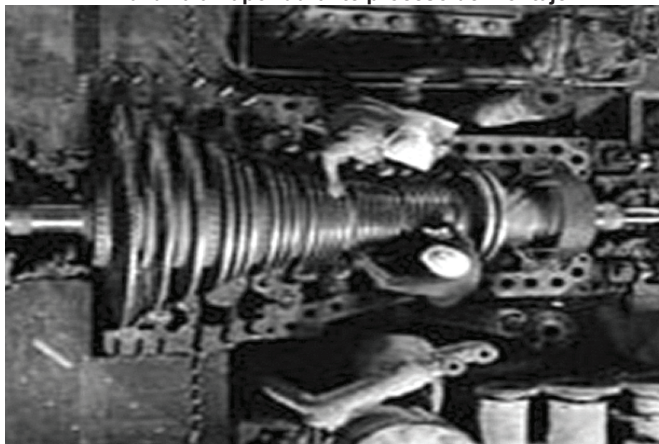
También llamadas Turbinas Navales, son máquinas de combustión externa, que convierten la energía térmica del vapor en trabajo útil. Constan básicamente de una parte móvil denominada rotor y un componente fijo denominado estator, en los cuales se encuentran instalados los álabes, y las toberas fijas y móviles, que son los elementos en los que se producirán las transformaciones de la energía del vapor (como se explicará más adelante). El rotor se encuentra dentro de una estructura o envuelta resistente a la presión, que adicionalmente proporciona soporte al eje rotor mediante cojinetes.

Estas máquinas son de flujo permanente, en las cuales el vapor entra y es direccionado hacia las toberas o pasos guía repartidos uniformemente en la periferia del rotor donde se expansionan a una presión menor, y adquieren como consecuencia gran velocidad, la cual es aprovechada luego por los álabes móviles de los rotores que la convierten en movimiento mecánico en el eje.

La transformación de la energía en las Turbinas se realiza en dos fases:

- En la primera fase, la energía térmica del vapor se convierte en energía cinética al pasar por las toberas.
- En una segunda fase, la energía cinética se convierte en energía mecánica al actuar sobre los alabes.

Turbina a Vapor durante proceso de montaje



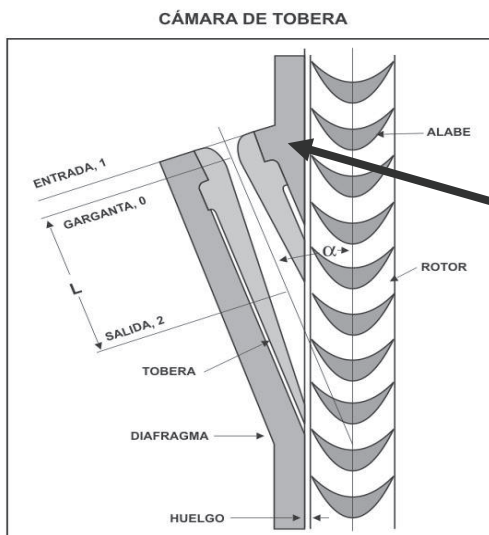
Tobera

Es un elemento mecánico que posee una gran sección transversal a la entrada, la cual se reduce hacia la salida, de manera que un fluido que pasa a través de esta reduce su presión y aumenta su velocidad incrementando su energía cinética.

Existen muchas formas de toberas, pero los principios de funcionamiento son similares. Cuando la diferencia de presiones entre la entrada y la salida no es muy grande, son, por lo general, del tipo "Convergente", es decir, la garganta y la boca de salida coinciden. Cuando existe una gran diferencia de presiones entre la entrada y la salida, es necesario otro tipo de toberas, denominadas "Convergente-divergentes" con la finalidad de reducir la turbulencia del vapor a la salida. En este caso, la garganta y la boca de salida no son iguales; esta última es divergente.

Las toberas tienen la función en la turbina de acelerar el vapor y dirigirlo hacia los álabes; generalmente, están ubicadas en el estator y distribuidas al rededor de los alabes. Su construcción es realizada de dos formas:

- En un bloque sólido de metal, en el cual se barrenan orificios en forma de tobera.
- Construidas por dos piezas de metal de forma curva, agrupadas formando lo que se denomina un "Anillo de Toberas".



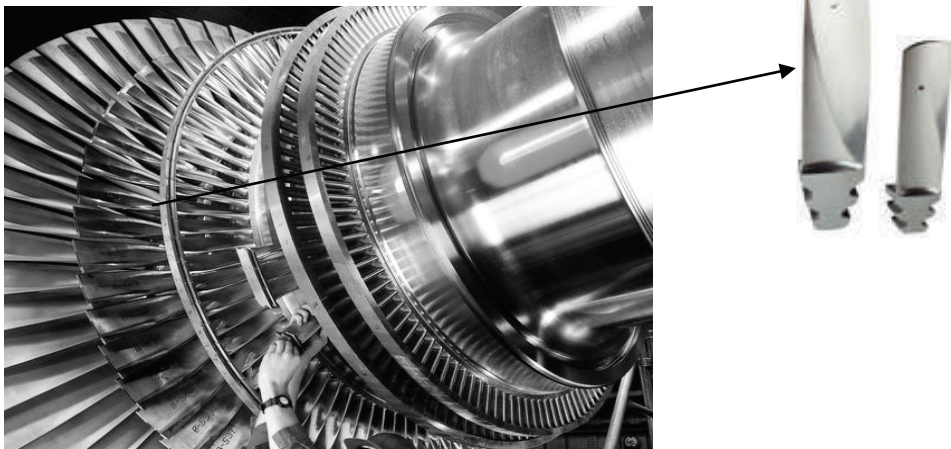
Corte seccional de una Tobera en bloque sólido de metal

Álabes

Son paletas curvas con forma de perfiles aerodinámicos que reciben el vapor a la salida de las toberas, absorbiendo la energía cinética que este contiene; la transforman en movimiento mecánico. Van sujetos al eje rotor, formando los llamados “empaletados”. Los álabes están sometidos a grandes esfuerzos de fatiga al trabajar en condiciones extremas donde soportan grandes fuerzas vibratorias; esto requiere un diseño complejo de gran rigidez y una geometría adecuada para distribuir todos los esfuerzos cuando ingresa el vapor a alta velocidad.

A medida que el fluido de trabajo pasa a través de los álabes, su velocidad disminuye gradualmente; para compensar esta disminución y mantener un flujo estable, el área de trabajo debe incrementarse a través de su recorrido de acuerdo con la ecuación de continuidad, lo cual se logra aumentando la altura del álabe. Por eso, el diámetro de las turbinas se incrementa en dirección al flujo de vapor, como se puede observar en las figuras.

Detalle de álabes del rotor de una Turbina a Vapor



Flujo de vapor en las toberas

Como se mencionó anteriormente, el vapor en este tipo de turbinas se dirige permanentemente de las toberas a los álabes y las transformaciones de la energía se llevan a cabo mediante las fuerzas ejercidas sobre estos

elementos a causa de los cambios en la cantidad de movimiento del vapor (ecuación de continuidad).

Considerando que la diferencia de entalpías a la entrada y a la salida es igual a la diferencia de la energía cinética del vapor entre estos dos puntos, se tiene la siguiente expresión:

$$h_1 - h_2 = \frac{(V_2^2 - V_1^2)}{2gJ}$$

Donde:

V1 = Velocidad a la entrada

V2 = Velocidad a la salida

h1 = Entalpía a la entrada

h2 = Entalpía a la salida

g = Aceleración de la gravedad

J = Constante de Joule

En la mayoría de los casos, la velocidad inicial del vapor a la entrada de la turbina es relativamente tan pequeña en comparación con la velocidad de salida que la podemos considerar como despreciable; la expresión, finalmente, quedaría así:

$$h_1 - h_2 = \frac{V_2^2}{2gJ}$$

En una turbina ideal (proceso isentrópico sin pérdidas), toda la variación de la entalpía del vapor que se transformó en energía cinética en las toberas se transforma luego al pasar por los álabes en energía mecánica en el eje. Queda la siguiente ecuación:

$$\text{Trabajo mecánico al eje} = (h_1 - h_2) - \frac{V_2^2}{2gJ}$$

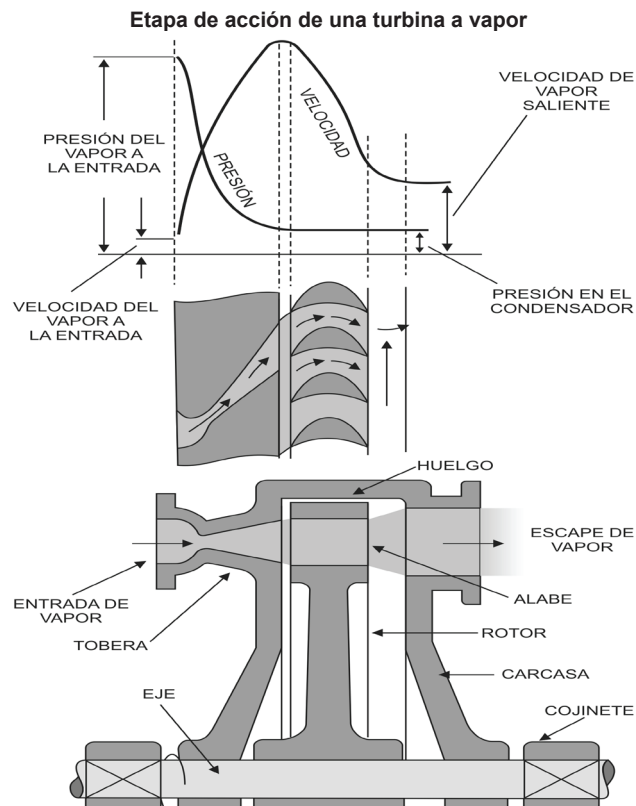
De esta forma, la entalpía se convierte en energía cinética a medida que el vapor circula por las toberas y en energía mecánica al fluir sobre los álabes.

3.2.2.2 Etapas de una Turbina a Vapor

Existen diferentes formas en las que se pueden realizar las transformaciones de energía en una turbina a vapor, combinando toberas y álabes, pero en todos los casos es aplicable la Ley de Newton del movimiento, que establece: "A toda acción corresponde una reacción igual y de sentido contrario". La forma más simple de aprovechamiento de la energía del vapor en una turbina es la etapa de acción, pero también es posible su aprovechamiento mediante etapas de reacción.

Etapa de Acción (Impulsión):

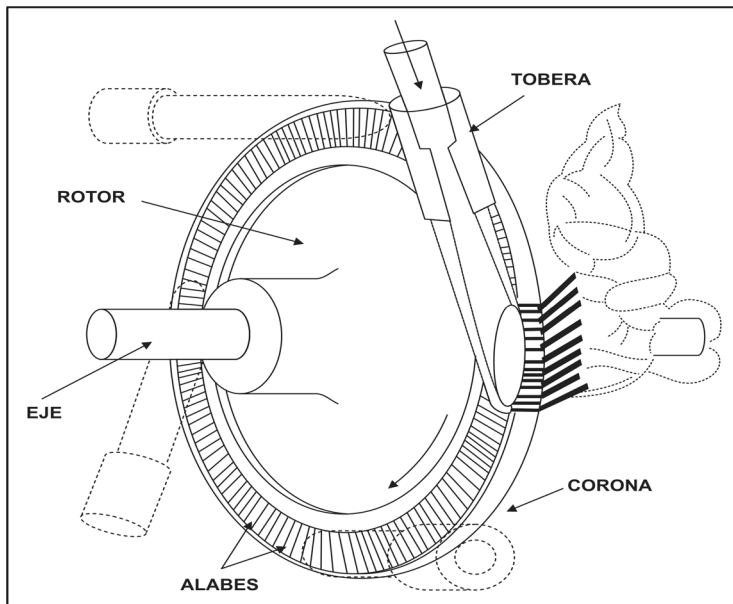
En una etapa de acción, toda la caída de presión del vapor y el incremento de velocidad tiene lugar en las toberas, las cuales están fijas dentro de la carcasa de la turbina. Los álabes, a su vez, están dispuestos en los bordes de un rotor que gira alrededor de un eje central y tienen la función de absorber una parte de la energía cinética del vapor en expansión; al chocar contra estos, hace girar el rotor y el eje, lo que genera el trabajo mecánico.



Las toberas de las turbinas de acción, generalmente, no cubren la totalidad de la periferia del rotor; por eso, en un momento dado, solo una parte de los álabes reciben los chorros de vapor.

Las primeras turbinas que utilizaron este tipo de etapas fueron las de tipo Laval. En estas, el vapor se expansionaba desde la presión inicial a la de escape en el interior de las toberas y la energía cinética del chorro era absorbida por una única hilera de álabes.

Turbina de Acción tipo Laval



En una Turbina de etapas de acción ideal, el chorro de vapor que sale por las toberas debería llevarse al reposo en los álabes; pero, en las turbinas de acción reales, esto no es posible debido a razones constructivas, ya que el vapor debe tener cierta velocidad para poder salir de la turbina; por este motivo, se produce una pérdida de energía en la turbina a causa de la velocidad residual del vapor.

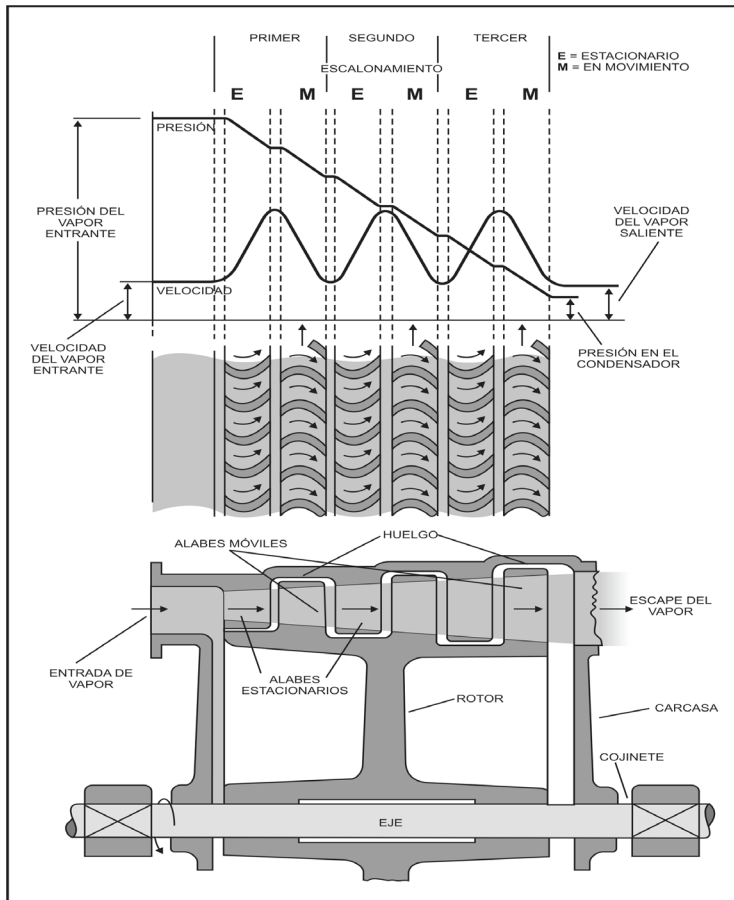
Etapas de Reacción:

En una etapa de reacción teórica, la expansión del vapor tiene lugar únicamente en los álabes o paletas móviles, los cuales tienen forma de tobera, "álabes en forma de tobera", y se obtiene energía mecánica de la aceleración del vapor en expansión en estos elementos.

Las turbinas con etapas de reacción cuentan, generalmente, con dos grupos de álabes, unos móviles y otros fijos. Estos están colocados de

forma que cada par actúa como una tobera a través de la cual pasa el vapor mientras se expande, lo que produce el movimiento mecánico por efecto de la reacción del vapor sobre los álabes móviles al pasar por estos.

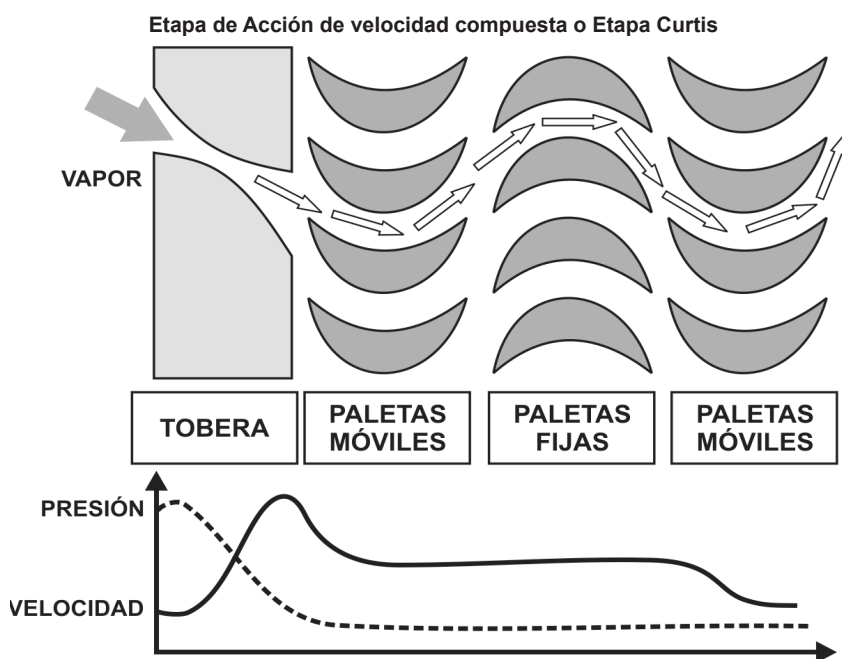
Turbina de reacción de tres escalonamientos



Existen también configuraciones de etapas de reacción, en las cuales el cambio de energía térmica en cinética tiene lugar tanto en las toberas fijas como en los álabes o paletas móviles. Esto se logra construyendo los pasajes entre paletas móviles también en forma de tobera; tal disposición, además de cambiar la dirección del vapor, cambia el valor de su velocidad. En la práctica, se diseña la etapa de reacción en forma tal que, para regímenes normales de potencia de la turbina, la mitad de la energía térmica es convertida en cinética en las toberas fijas y la otra mitad en los álabes o paletas móviles. Este tipo de etapa es también llamada de reacción pura.

Etapa de Acción de velocidad compuesta o Etapa Curtis:

En una etapa de acción de velocidad compuesta, el vapor ingresa a los grupos de toberas, y se expande reduciendo su presión y aumentando su velocidad; luego, ingresa a una primera hilera de álabes móviles, donde el flujo de vapor pierde velocidad e invierte su sentido, (etapa de acción). Después, ingresa a una segunda hilera de álabes fijos para invertir nuevamente el sentido del flujo de vapor, sin variar su presión o velocidad, y, posteriormente, dirigirse a una segunda hilera de álabes móviles, donde sufre una segunda caída de velocidad.



3.2.2.3 Escalonamientos de las Turbinas a Vapor

Si en una turbina a vapor toda la energía se transformase en trabajo útil en una sola etapa con un escalonamiento, sería necesario que la turbina girase a una gran velocidad (30,000 a 40,000 RPM); tal velocidad demandaría condiciones de los materiales tremendamente exigentes y un reductor mecánico de dimensiones desproporcionadas que reduce la eficiencia de la planta de propulsión en general.

Los escalonamientos en una turbina tienen por objeto disminuir la velocidad del rotor, reduciendo las exigencias mecánicas y conservando una velocidad de los álabes próxima al valor óptimo con relación a la del chorro de vapor, que es:

Para turbinas de acción con un solo escalonamiento, la mitad de la velocidad del chorro de vapor.
Para turbinas de reacción, la equivalente a este chorro.

Por este motivo, se utilizan más escalones en las turbinas de reacción que en las turbinas de acción, ya que, con el mismo diámetro y la misma cantidad de energía, las turbinas de reacción necesitan el doble de escalones para obtener un rendimiento máximo. Sin embargo, existen combinaciones de ambos tipos de turbinas así; las turbinas más grandes, que normalmente son de acción, emplean etapas de reacción al principio para que el flujo de vapor sea mejor aprovechado. Por otro lado, muchas turbinas de reacción utilizan una primera etapa de acción, lo que reduce el número de escalones necesarios.

Para que la energía del vapor sea utilizada eficientemente, en ambos tipos de turbinas, es necesario utilizar varios escalonamientos que conviertan progresivamente la energía térmica del vapor en energía cinética.

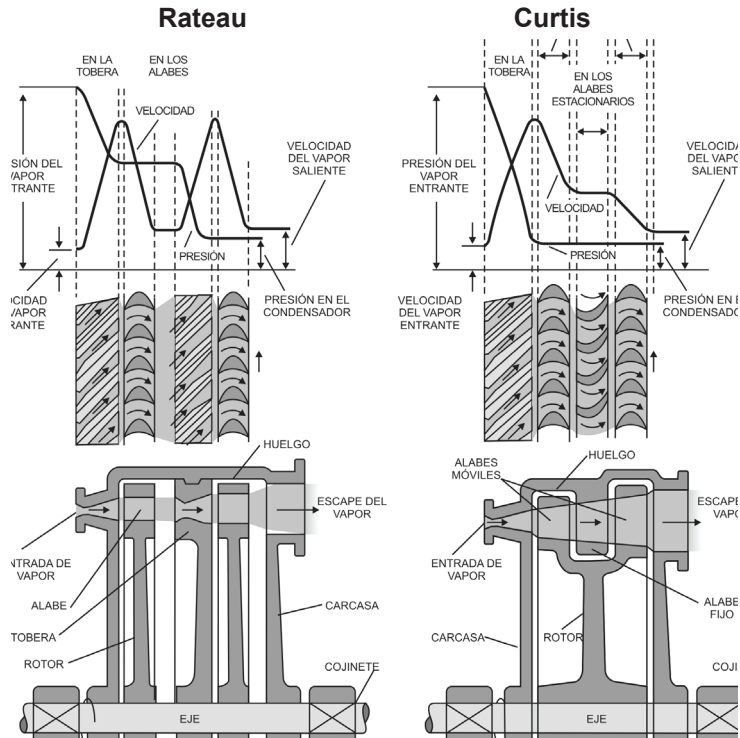
Otro efecto físico es el aumento del volumen del vapor conforme este se expande; por este motivo, es necesario aumentar en cada escalón el tamaño de los pasos a través de los cuales pasa el vapor. Este aumento se consigue alargando los álabes de un escalón al otro y aumentando el diámetro del tambor o rotor al que están acoplados. Por eso, las turbinas de propulsión tienen, por lo general, forma cónica con un diámetro más pequeño en el extremo de entrada, de alta presión, y un diámetro mayor en el extremo de salida o de baja presión.

Los tipos de escalonamientos utilizados son los siguientes:

- **De Presión (Escalaonamiento Rateau).** La caída de presión se produce en grupos de toberas, de forma tal que la velocidad resultante sea lo suficientemente baja para ser absorbida por una velocidad razonable del rotor; esto se repite tantas veces como sea necesario.
- **De Velocidad (Etapas de Acción de velocidad compuesta o Etapa Curtis).** Consiste en crear una gran caída de presión en un grupo de toberas y utilizar la velocidad resultante del vapor en tantos grupos de álabes fijos y móviles como sea necesario.

Este tipo de escalonamientos son explicados en el siguiente diagrama:

Diagramas de Escalonamientos en Turbinas a Vapor

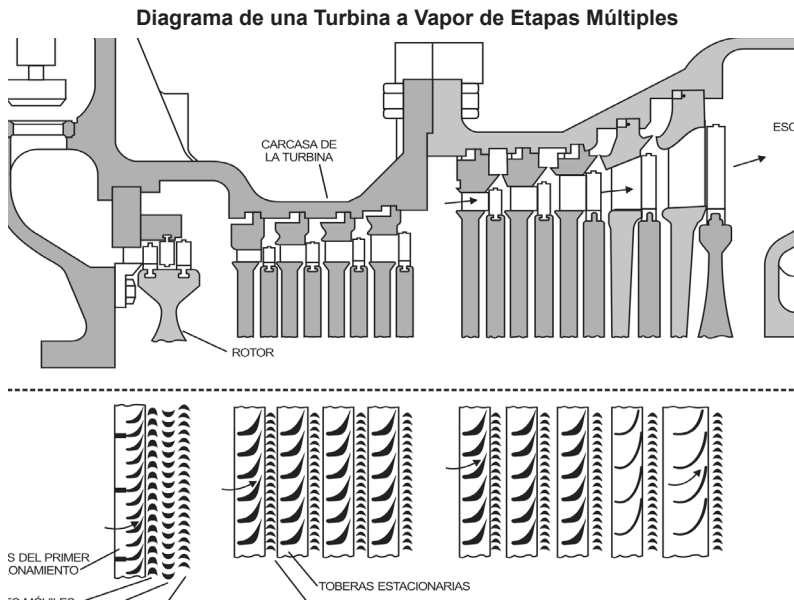


Disposiciones de Etapas Múltiples

Como hemos revisado anteriormente, existen consideraciones específicas relacionadas a las diferentes etapas con las que se puede aprovechar la energía térmica del vapor en una turbina. En la práctica, las turbinas se diseñan en “etapas múltiples”, combinando diferentes tipos de escalonamientos, con la finalidad de aprovechar mejor el vapor dentro de una amplia gama de presiones, mejorando la eficiencia de la planta de vapor y logrando velocidades del eje aceptables desde el punto de vista mecánico y termodinámico. Esto determina que se requieran diferentes tipos de turbinas con diferentes arreglos entre las etapas. Una típica planta de propulsión a vapor de un buque consta, por lo general, de una turbina de alta presión, una turbina de baja presión y, adicionalmente, una turbina de marcha atrás.

Por lo general, las primeras etapas de una turbina deben ser de acción de velocidad compuesta. Las etapas de acción son siempre colocadas en el lado de alta presión de una turbina para reducir al mínimo las

pérdidas de vapor por las puntas de los álabes y las etapas de reacción son colocadas siempre en el lado de baja presión debido a su alta eficiencia en estas condiciones. En el siguiente diagrama, se muestra una turbina vapor de etapas múltiples.



Maniobra de extracción para mantenimiento del Rotor de la Turbina de Alta Presión de Etapas Múltiples del BAP "Almirante Grau"



3.2.2.4 Clasificación

Existen diferentes formas o criterios de clasificación para las turbinas a vapor, los cuales son los siguientes:

Por el tipo de etapas:

- **Turbinas de Acción:** Son aquellas en las que se utiliza el impulso del chorro de vapor para mover los álabes; en este tipo de turbinas, las toberas son fijas y van montadas sobre el bastidor o carcaza.
- **Turbinas de Reacción:** En este caso, los espacios comprendidos entre los álabes tienen la forma de toberas y la reacción ejercida sobre estas por el vapor saliente hace girar el rotor.
- **Turbina de Acción de Velocidad Compuesta:** En este tipo de turbinas, se mejora la eficiencia en la conversión de la energía térmica del vapor re-direccionando el flujo de este con un juego de álabes fijos para ser utilizado nuevamente en un segundo grupo de álabes.

Por la división del flujo de vapor:

- **De flujo simple:** El flujo se dirige de un extremo al otro de la turbina.
- **De flujo en tándem o flujo compuesto en tándem:** El flujo de vapor se expansiona en dos turbinas separadas, pero en el mismo eje.
- **De flujo compuesto cruzado:** La expansión del vapor se da en dos turbinas en serie separadas o de ejes separados, pero engranadas en una salida común.
- **De doble flujo:** El vapor ingresa por el centro de la turbina y se divide dirigiéndose en doble flujo hacia cada extremo.

Generalmente, para turbinas de alta presión, se emplea flujo compuesto cruzado, y para turbinas de baja presión, turbinas de doble flujo.

Por la dirección del flujo del vapor:

- **De flujo axial:** Turbinas en las que la dirección del flujo de vapor en relación al eje del rotor es paralela a este.
- **De flujo radial:** En estas turbinas, la dirección del flujo de vapor es radial o perpendicular al eje del rotor.

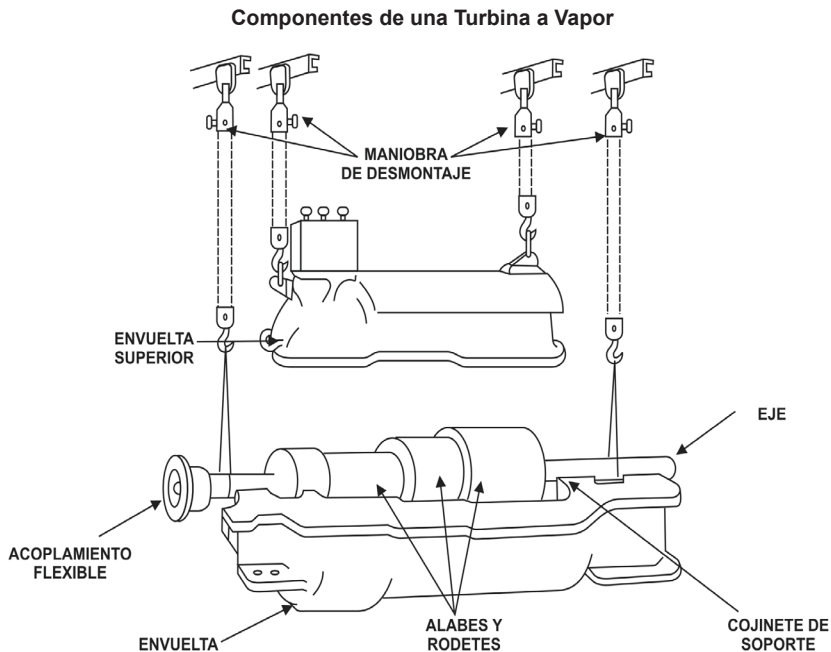
La mayoría de las turbinas navales de vapor son de flujo axial, ya que este tipo de turbinas facilita el diseño de etapas múltiples.

Por el número de veces que el flujo de vapor mueve los álabes:

- **De simple entrada.** Son turbinas en las que el flujo de vapor circula una sola vez para mover los álabes.
- **De Re-entradas.** Son turbinas en las que el mismo flujo de vapor circula más de una vez para dar movimiento a los álabes.

3.2.2.5 Componentes Principales

Las turbinas de vapor son relativamente máquinas sencillas, compactas y muy confiables, ya que tienen una sola parte móvil, que es el eje rotor. Sin embargo, requieren ciertos componentes que cumplan funciones específicas, como una envuelta o estructura de soporte, cojinetes para sostener y alinear el eje, cojinetes de empuje y un pistón de equilibrado para mantener la posición y compensar la fuerza axial en el sentido del flujo de vapor, un sistema de sellado que impida que el vapor salga de la turbina y que el aire entre en ella, un sistema de lubricación; adicionalmente, para el control de la velocidad de rotación, requiere de válvulas para la admisión del vapor que ingresa la turbina.

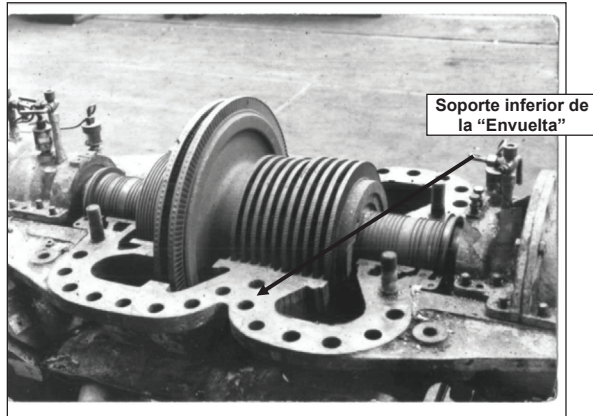


a) Envuelta

Es la base y contenedor que proporciona soporte para el eje del rotor; además, proporciona la estructura necesaria para conducir el vapor a través de las toberas y álabes. Está conformada, generalmente, por dos piezas, dispuestas de manera horizontal que facilitan el acceso para inspecciones o reparaciones.

En la figura, se muestra el rotor de la turbina de crucero del BAP “Almirante Grau” que descansa sobre el soporte inferior de su envuelta:

**Turbina de Crucero del BAP “Almirante Grau”
(durante trabajos de mantenimiento)**



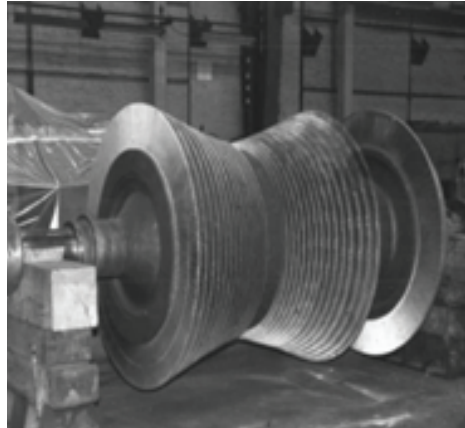
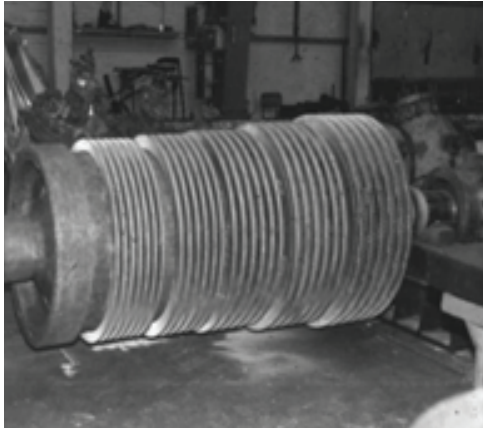
b) Eje rotor

Es la única parte móvil de la turbina y tiene la función de recoger el movimiento generado en los álabes por el vapor y transmitir este trabajo a la turbina y al eje. Generalmente, los rotores constituyen una sola pieza con el eje, por lo que se denominan eje-rotor.

Diferentes Tipos de Rotores de Turbinas a Vapor



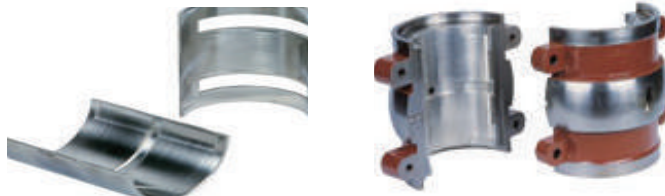
Rotores de las turbinas del BAP “Almirante Grau” durante trabajos de mantenimiento en talleres
Turbina de Alta Presión **Turbina de Baja Presión y**
Marcha Atrás



c) Soportes del Rotor (descansos y cojinetes)

Los rotores de las turbinas son mantenidos en su posición tanto axial como radial mediante cojinetes. Una de las funciones de estos es mantener las “luces” o tolerancias adecuadas entre el rotor y la envuelta. Estos cojinetes están confeccionados, generalmente, con material babbitt (metales de sacrificio) con la finalidad de facilitar la lubricación, reducir el desgaste y la fricción del eje.

Cojinetes utilizados en Turbinas a Vapor

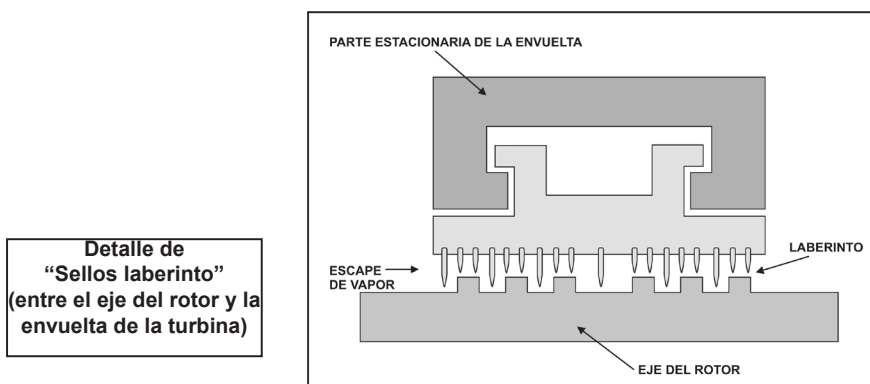


d) Chumacera de Empuje Axial

El flujo del vapor a través de la turbina produce un empuje axial al eje en el sentido de este flujo, el cual debe ser compensado para mantener en su posición al eje rotor, manteniendo las “luces” o tolerancias axiales adecuadas. Para este fin, existen pistones compensadores de empuje también denominados “chumaceras de empuje axial”, los cuales proporcionan un empuje en el sentido contrario al flujo vapor manteniendo al eje rotor en su lugar.

e) Sellos (entre las puntas de los álabes y en la salida del eje rotor)

La función de estos componentes es reducir las pérdidas de vapor hacia el exterior de la envuelta a través de la salida del eje rotor; para ello, existen anillos del carbón montados al rededor del eje o “sellos laberinto”. También es necesario reducir las pérdidas de vapor entre las puntas de los álabes entre etapa y etapa de la turbina, en este caso los “sellos laberinto”, proporcionando un camino sinuoso al vapor que dificulta su paso entre etapa y etapa.



3.2.2.6 Rendimiento o Eficiencia

El rendimiento o eficiencia de una turbina a vapor depende de diversos aspectos: el manejo adecuado del transporte del vapor desde las calderas considerando las tuberías y válvulas, el aislamiento térmico para evitar pérdidas de energía por caídas de entalpía, pero también aspectos mecánicos imprescindibles para reducir la fricción en los cojinetes, y las pérdidas de vapor en sellos y “glanes”.

Para llegar al planteamiento de la eficiencia, debemos tomar como base “**La ecuación general de la energía**” donde:

Energía Potencial:	Z / J
Energía Cinética:	$Vs / 2gJ$
Energía Térmica:	$h_1 - h_2$
Calor suministrado:	$Qa - Qe$
Trabajo entregado:	Wk
Pérdidas mecánicas:	Lm

Para una turbina bien aislada, consideramos irrelevante la energía potencial y el intercambio de calor con la atmósfera. También consideramos irrelevante la magnitud de la velocidad del vapor al ingreso a la turbina, con lo que finalmente tenemos la siguiente expresión:

$$W_k = (h_1 - h_2) - (V_s^2 / 2g J) - L_m$$

Donde:

h1 = Entalpía al ingreso a la turbina

h2 = Entalpía a la salida de la turbina

Vs = Velocidad del vapor a la salida de la turbina

Lm = Pérdidas mecánicas

Wk = Trabajo producido por el eje de la turbina

Pérdidas de Energía:

Las pérdidas de energía dentro de una turbina se pueden deber a diferentes factores, como:

a) Cambios de Entalpía. Por lo siguiente:

- **Pérdidas Termodinámicas**, causadas al estrangular el vapor entre la válvula de cuello y la cámara de distribución del vapor del regulador de potencia.
- **Por Fricción**, del vapor en las toberas y álabes.
- **Otros Factores.**

Siendo h_2 la entalpía teórica de salida y h_2' la entalpía considerando pérdidas, la eficiencia termodinámica quedaría determinada por:

$$\eta_i = \frac{(h_1 - h_2)}{(h_1 - h_2')}$$

b) Pérdidas a la salida

Se consideran a la salida de la última etapa de la turbina y se deben a la energía cinética remanente en el vapor, la cual se puede determinar por la siguiente expresión:

$$\frac{V_s^2}{2g J}$$

c) Pérdidas Mecánicas

Asociadas a la fricción en descansos y empaquetaduras de eje rotor, un valor aproximado de estas puede hallarse con la siguiente expresión experimental:

$$L_m = 1.46 (h_1 - h_2) \text{ HP (de diseño)}^{1/2}$$

Finalmente, la eficiencia mecánica de una turbina a vapor que considera todas las pérdidas queda determinada por la siguiente expresión:

$$n_m = \frac{\text{BHP}}{\text{IHP}} = \frac{(h_1 - h_2) - \frac{V_e^2}{2g} \text{ J} - L_m}{(h_1 - h_2')}$$

3.2.2.7 Regulación de Potencia

Para poder controlar la velocidad de una turbina a vapor, se debe regular el ingreso de vapor mediante su restricción o apertura. Esto se puede hacer mediante dos métodos, cada uno de los cuales tiene características particulares:

a) Válvulas de Estrangulación

Son válvulas que reducen la presión del vapor al ingreso a la turbina, pero también aumentan el consumo específico de vapor a bajos regímenes de potencia. Este tipo de control se emplea únicamente en turbinas que trabajen a máximos regímenes de potencia.

b) Control de Toberas

Este sistema consiste en una serie de válvulas que descubren progresivamente tantos pasos de vapor como sean necesarios para alimentar un grupo de toberas. Esto permite utilizar vapor prácticamente a la misma presión que a la salida de la caldera, lo que reduce el consumo específico de vapor en la turbina a bajos regímenes de potencia.

Secuencia del Desmontaje del Rotor de una Turbina de Vapor a bordo del BAP "Almirante Grau"



3.2.3 Sistema de Condensado

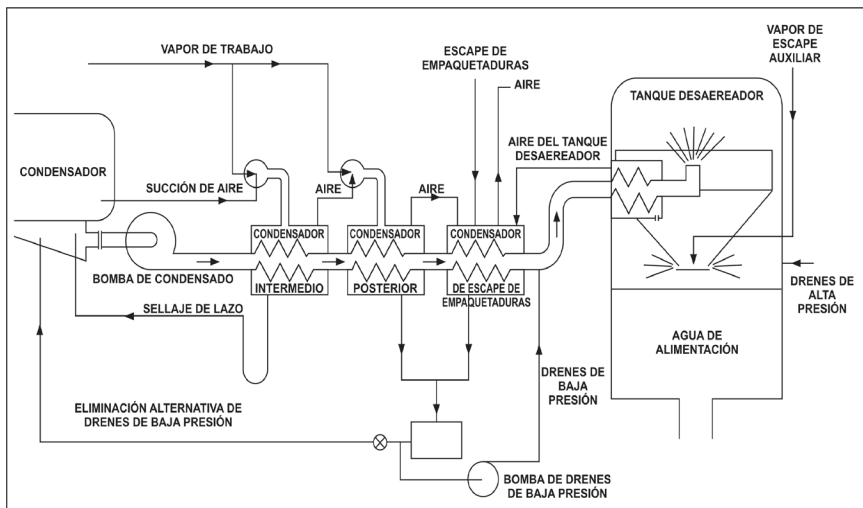
3.2.3.1 Funciones

El Sistema de Condensado de una planta de vapor tiene como finalidad coleccionar y condensar el vapor de escape que ha trabajado en las turbinas principales y convertirlo en agua de alimentación para que pueda ser reintroducida en las calderas, cerrando el ciclo de vapor.

El principal componente de este sistema es el Condensador Principal, el cual consiste en un intercambiador de calor que utiliza el agua de mar para enfriar el vapor y condensarlo; además, mantiene una presión de vacío en su interior que permite incrementar la eficiencia termodinámica del ciclo, ya que la presión determina la temperatura de condensación del vapor y, por lo tanto, la diferencia de temperaturas entre el condensador

y la caldera. El vapor condensado es extraído por una bomba que lo envía hacia un tanque denominado Tanque Des-aereador, en el cual el condensado se convierte en agua de alimentación luego de un proceso de extracción de oxígeno y gases disueltos; en este punto, es posible agregar agua de las evaporadoras para compensar las pérdidas de vapor. Luego, esta agua es introducida al colector de vapor de las calderas mediante una bomba de alimentación.

Diagrama del Sistema de Condensado de una Planta a Vapor



Este sistema, como hemos visto, está conformado por una serie de componentes que posibilitan su funcionamiento; además, cumple con funciones secundarias no por ello menos importantes, como:

- Provee un lugar adecuado para la extracción de gran parte del oxígeno disuelto que se encuentra contenido en el vapor y en el agua de alimentación.
- Determina puntos adecuados para el control del agua de alimentación y puntos para la adición de compuestos químicos especiales para mantener las características del agua dentro de las especificaciones requeridas.

Compuestos para el tratamiento de agua de calderas

Son compuestos inorgánicos especiales en base a fosfatos, sulfitos, aminas, que se comportan como preventivos para evitar las incrustaciones en las calderas.

- Introducir fluido de trabajo adicional “agua de máquinas” generada en las evaporadoras, que pueda compensar las pérdidas de vapor producidas en el sistema, durante su operación, ya sea por fugas, averías u otras condiciones, manteniendo un flujo constante de agua de alimentación en las calderas y una reserva adecuada que permita operar la planta con cierto margen de seguridad.
- Recolectar el vapor que ha sido empleado en Turbo-generadores, Turbo-bombas y otros equipos auxiliares para condensarlo y reintroducirlo al sistema.

3.2.3.2 Componentes Principales

Condensador Principal:

Es un intercambiador de calor generalmente de “flujo cruzado” compuesto por tubos y envuelta, donde se produce la condensación del vapor procedente de los escapes de las máquinas principales, el cual se mantiene con una presión de vacío mediante un “eyector de aire”, que extrae aire y gases no condensados contenidos en el vapor y permite incrementar la eficiencia termodinámica del ciclo.

Por los tubos del condensador, circula agua de mar fría, la cual es introducida mediante una combinación de bombas y “cucharas” que aprovechan el desplazamiento del buque para introducir el agua de mar a través del casco, hacia el interior de los tubos, para luego descargarla hacia el exterior una vez que ha absorbido el calor del vapor. Por la envuelta, se recibe el vapor trabajado procedente de las turbinas de baja presión, el cual es enfriado y condensado por efecto del contacto con los tubos y la presión de vacío del interior.

En la parte inferior del condensador, se encuentra la bomba de condensado, la cual extrae el vapor condensado y lo dirige al siguiente punto del sistema: el tanque des-aereador.

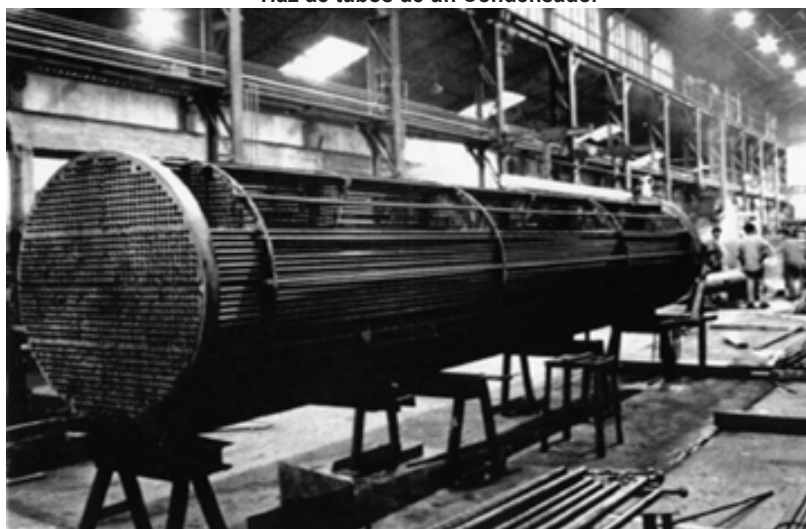
Para un funcionamiento adecuado del condensador principal, es necesario tener en cuenta ciertos factores:

- Que exista una diferencia sustancial de temperatura entre el vapor y el agua de mar, ya que, si esta es muy alta, pueden presentarse deficiencias.
- Que la cantidad de agua de refrigeración suministrada sea la suficiente como para absorber el calor latente del vapor y poder condensarlo.
- Que existan buenas condiciones de transferencia; se debe tener en consideración el estado del condensador; mantenimiento y limpieza del las superficies de los tubos.

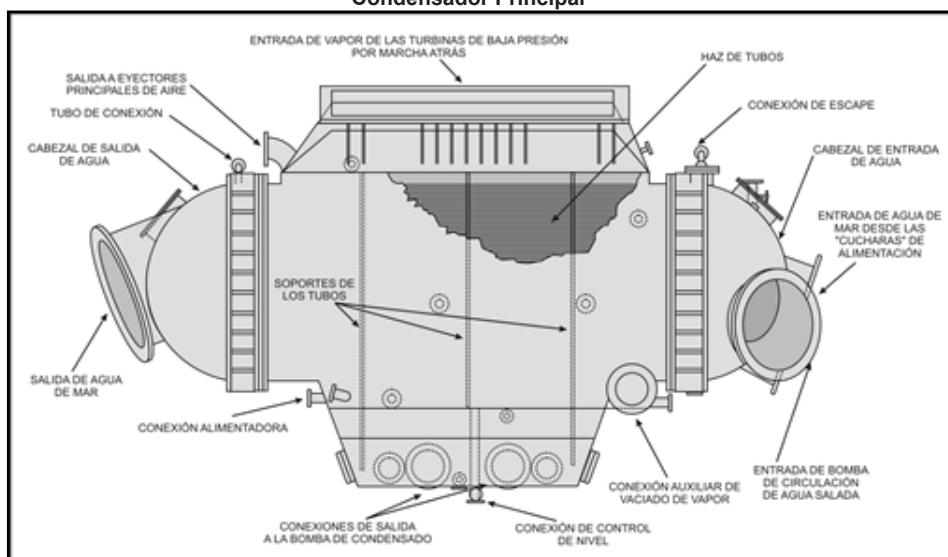
- El condensador puede operar hasta con un 10% de los tubos taponeados por averías.

Adicionalmente, dependiendo del tipo y diseño de la planta, pueden existir otros condensadores auxiliares de características similares, con la función de condensar el vapor que ha trabajado en los equipos auxiliares y en los sistemas de sellos de las turbinas denominados "Glanes".

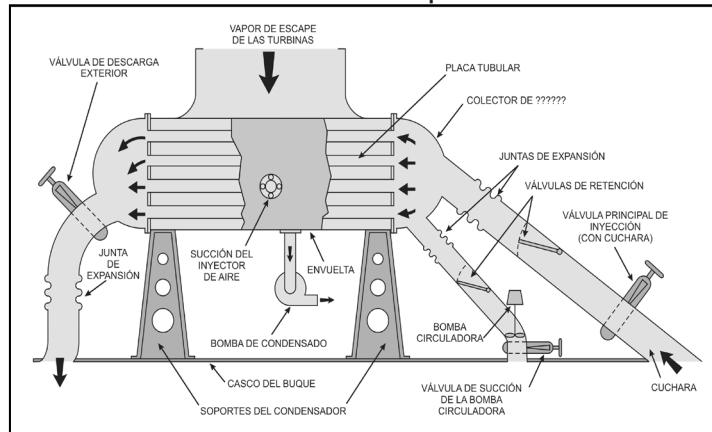
Haz de tubos de un Condensador



Condensador Principal



**Diagrama del sistema de circulación de agua de mar en un
Condensador Principal**



Bombas de Circulación Principal:

La función principal de estas bombas es hacer circular agua de mar por el interior de los tubos del condensador. Estas se ponen en servicio cuando el sistema de “cucharas” o la velocidad del buque no son suficientes para poder hacer circular el volumen de agua de mar necesario que garantice el funcionamiento adecuado del condensador.

A bordo existen electro-bombas y turbo-bombas de circulación de agua, las cuales son utilizadas dependiendo de la disponibilidad de vapor en la planta. El sistema cuenta, además, con válvulas de no retorno para mantener las tuberías con agua en su interior y facilitar el funcionamiento de estas bombas.

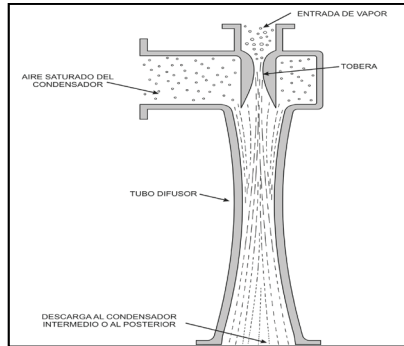
Bombas de Condensado:

Su función principal es extraer el vapor condensado en estado líquido del condensador principal para enviarlo al “tanque des-aereador”. Estas son, por lo general, electro-bombas.

Eyectores de Aire:

Su función principal es extraer el aire y otros gases no condensables del condensador principal, generando cierto grado de vacío en el interior de este. Son del tipo bomba de aire y su funcionamiento está basado en el principio de Bernoulli. Trabajan, generalmente, con vapor auxiliar, el cual es acelerado en una tobera generando el vacío necesario para producir el arrastre del aire y gases hacia el exterior del condensador. El esquema de un Eyector de aire se muestra en el siguiente diagrama:

Eyector de Aire



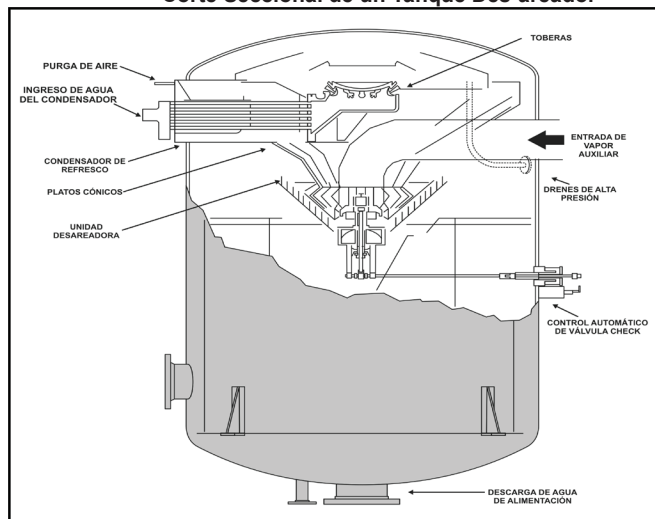
Tanque Des-aereador o de Nivel:

Es el punto de unión entre el sistema de condensado y el sistema de alimentación, ya que, en este punto, se convierte el condensado en agua de alimentación. Tiene la finalidad de “desaerar”, es decir, extraer y remover el oxígeno disuelto en el agua para reducir la corrosión en los tubos de las calderas, precalentar el agua de alimentación y también, en algunos casos, introducir compuestos químicos y agregar agua adicional para complementar las pérdidas.

Este tanque es básicamente un cilindro con tres secciones diferenciadas: la sección superior, que cumple principalmente la función de precalentar el agua; la sección media, en la que se completa la separación del aire del agua mediante los elementos separadores; y la sección inferior, en la que se almacena el agua ya precalentada y desaerada.

En el siguiente diagrama, se muestra un corte seccional de un Tanque Des-aereador típico:

Corte Seccional de un Tanque Des-aereador



3.3 Ventajas y Desventajas de las Plantas de Propulsión a Vapor

Al final de este capítulo, se ha querido hacer un listado de las principales ventajas y desventajas que presenta la operación de una planta a vapor, considerando los aspectos operacionales, técnicos y logísticos.

Ventajas

- Se puede utilizar petróleo residual, lo cual implica una reducción en el costo de operación.
- Se tiene la opción de utilizar diversos tipos de turbinas, lo cual determina una mayor versatilidad de operación.
- Cuando las condiciones de operación no son las más exigentes, se puede utilizar el vapor excedente en el funcionamiento de diferentes servicios auxiliares a bordo: generación eléctrica, cocina, lavandería, entre otros; esto hace al sistema flexible y eficiente.

Desventajas

- Alto costo inicial para la implementación de la planta en relación con la potencia generada.
- Requerimientos de agua tratada, apta para su uso en las calderas, lo cual implica sistemas logísticos adicionales, así como medios de almacenamiento a bordo.
- Dimensiones relativamente grandes de la planta de propulsión por unidad de potencia, generada, es decir, una baja relación Peso/Potencia.
- Alta inercia térmica, ya que son necesarios lapsos de varias horas para poner en funcionamiento la planta o para ponerla fuera de servicio; con ello, se incrementan los costos de operación y las desventajas operacionales derivadas.

CAPÍTULO 4

PLANTAS DE PROPULSIÓN CON TURBINAS A GAS

4.1 Las Turbinas a Gas o Turbinas de Combustión

Las turbinas a gas son los motores de más reciente introducción a los sistemas de propulsión navales. Aunque su aplicación inicial estuvo destinada a propulsar aeronaves, en la forma de turbo-reactores, turbo-hélices y turbo-ventiladores, su versatilidad, sencillez y su excelente relación peso-potencia ha hecho que estos motores estén presentes actualmente en la mayoría de buques de línea, dentro de los cuales se encuentran las fragatas tipo “Carvajal” y “Aguirre” en servicio en nuestra escuadra.

Este tipo de motores ha sido desarrollado a partir del ciclo termodinámico *Brayton*. Consiste, básicamente, en tomar aire atmosférico a través de un ducto de entrada, el cual es aspirado por un compresor, que lo comprime y calienta, para luego descargarlo a una cámara de combustión donde el combustible es inyectado mediante unas toberas; en esta cámara, la mezcla aire combustible es encendida por bujías generando la combustión y los gases, que salen a gran velocidad y temperatura y son dirigidos contra el rotor de una turbina, la cual se encarga de extraer la energía cinética y térmica de los gases o en otros casos son directamente impulsados al exterior a través de una tobera para producir el efecto de reacción; esto último ocurre exclusivamente en turbinas destinadas a aeronaves.

En este tipo de motores, la combustión es permanente y auto-sostenida, las bujías son des-energizadas después de un período muy corto de funcionamiento durante el arranque; sus principales características son su diseño compacto y el movimiento rotacional continuo que proporciona al eje.

En este capítulo, se pretende introducir al lector en los principios básicos de funcionamiento de este tipo de motores; asimismo, se describirá la turbina marina LM-2500 en cuanto a sus componentes, sistemas y características, de la cual existen 16 unidades en servicio actualmente en nuestras fragatas.

4.2 Ciclo Termodinámico Brayton

Como se indicó previamente, las turbinas a gas marinas (TAG) empleadas en propulsión naval y los motores de reacción para aeronaves funcionan bajo el ciclo termodinámico *Brayton*. Este ciclo también conocido como de *Joule-Brayton* fue desarrollado originalmente empleando una máquina de pistones con inyección de combustible. El objetivo de este ciclo es convertir energía en forma de calor en trabajo. Actualmente, se emplea en turbinas con ciclos abiertos o cerrados; los ciclos abiertos usan aire atmosférico para crear la sustancia de trabajo, mientras que los ciclos cerrados emplean sustancias que poseen otras propiedades físicas. Las turbinas a gas marinas (TAG), excepto algunas experimentales, operan con ciclos abiertos.

Ciclo ideal o teórico:

Los ciclos reales son difíciles de examinar, pues existen demasiados factores que producen variaciones que se tienen que tomar en cuenta y que hacen tremendamente complejo su análisis. Para facilitar el estudio de los ciclos, se introdujo el concepto del llamado ciclo ideal o teórico, en el cual se eliminan o simplifican todos esos factores que complican el análisis para llegar a una aproximación de la realidad que sea útil para entender los procesos.

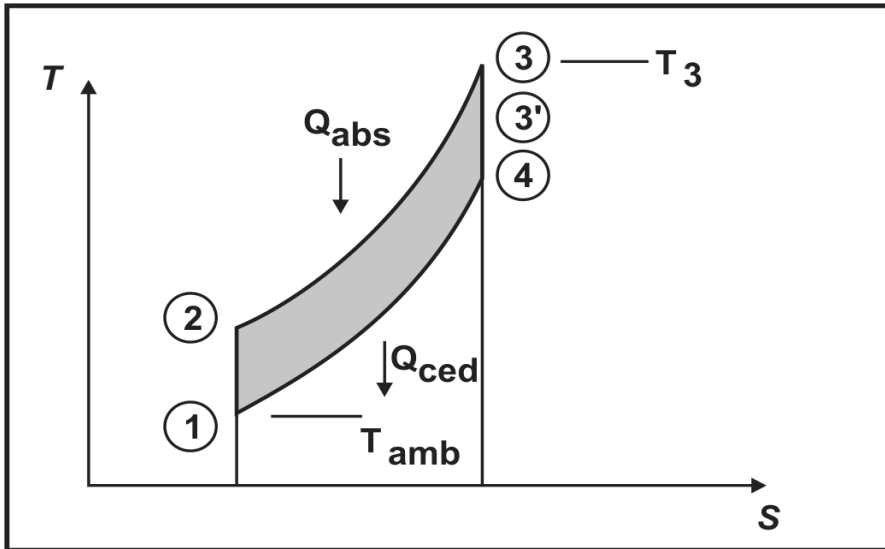
Estas simplificaciones empleadas de manera general en el análisis de los ciclos termodinámicos pueden resumirse en lo siguiente:

- El ciclo no considera rozamiento, por lo que el fluido de trabajo no experimenta reducción significativa de presión cuando fluye en tuberías, válvulas u otros dispositivos. Esto, como sabemos, no ocurre en los procesos reales, ya que siempre existen pérdidas en las propiedades de los fluidos.
- Las tuberías y accesorios que conectan a los diferentes componentes de un sistema están bien aisladas; por este motivo, la transferencia de calor es de magnitud despreciable.

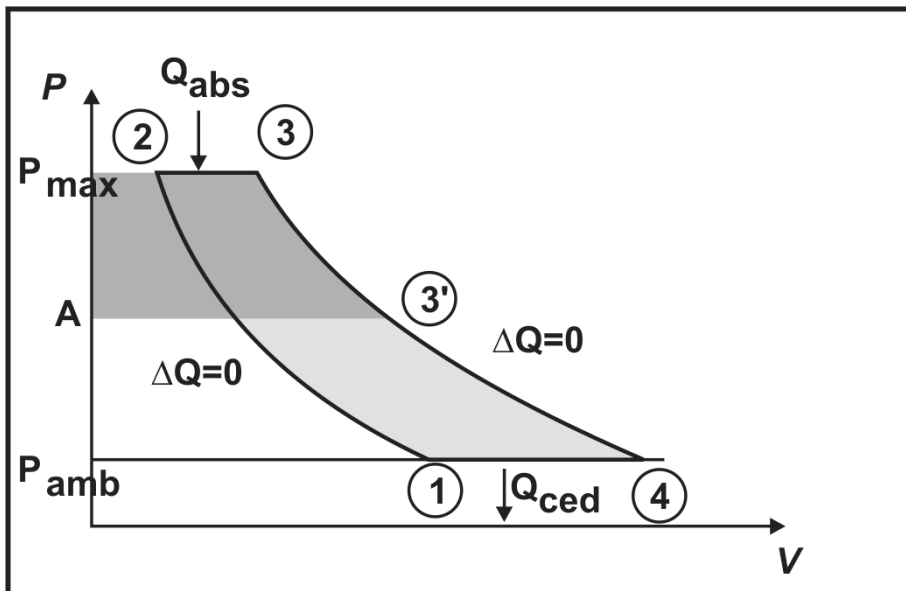
Considerando un proceso ideal reversible (sin pérdidas) y adiabático (sin transferencia de calor), los diagramas de propiedades, Presión-volumen P-V y Presión-entropía T-S, nos ayudarán a definir el ciclo con los siguientes procesos:

- 1 - 2 Compresión (adiabática reversible)
- 2 - 3 Combustión (a presión constante)
- 3 - 3' Expansión: Turbina del Compresor (trabajo negativo)
- 3'- 4 Expansión: Turbina de Potencia o Tobera (trabajo efectivo)

Diagrama de Temperatura-Entropía T-S
del Ciclo Joule-Brayton teórico



Diagramas Presión-Volumen P-V
del Ciclo Brayton teórico



Funcionamiento del Ciclo:

1 - 2 Compresión (adiabática reversible):

Aire fresco en condiciones ambientales se introduce dentro del compresor, donde su temperatura y presión se elevan.

2 - 3 Combustión (a presión constante):

El aire de alta presión que ha pasado por el compresor sigue hacia la cámara de combustión, donde el combustible se introduce y se quema a presión constante.

3 - 3' Expansión: Turbina del Compresor (trabajo negativo):

Luego, los gases de alta temperatura resultantes entran a una turbina de alta presión, unida al eje del compresor, donde se expanden generando potencia para el funcionamiento del compresor. Este trabajo se considera negativo, ya que es trabajo que requiere el sistema.

3'- 4 Expansión: Turbina de Potencia o Tobera (trabajo efectivo):

Los gases entran a una segunda turbina cuyo eje está conectado con el eje propulsor, donde se expansionan por segunda vez, generando potencia; esta vez, la potencia generada es considerada como trabajo efectivo, ya que es el que entrega el sistema.

En el caso de las turbinas de reacción, esta segunda turbina es reemplazada por una tobera que tiene la función de acelerar más aun los gases y producir, con esto, el efecto de acción-reacción que es el que genera el trabajo efectivo en este caso.

Los gases de escape, finalmente, salen de la turbina siendo expulsados hacia el exterior, lo que define que el ciclo se considere como un ciclo abierto. En unidades navales, se requieren ductos especiales de descarga (chimeneas).

En los ciclos reales, tanto en los procesos de compresión como de expansión, existen pequeñas pérdidas térmicas y mecánicas, de mayor o menor magnitud dependiendo del diseño y las condiciones de mantenimiento, pero, por lo general, se aproximan a las condiciones adiabáticas.

Por otra parte, durante la combustión, se produce siempre un ligero aumento de la presión que no es íntegramente un proceso a presión constante. Estas condiciones han sido simplificadas para el presente análisis teórico del ciclo.

Ciclos Brayton modificados o Ciclos Complejos:

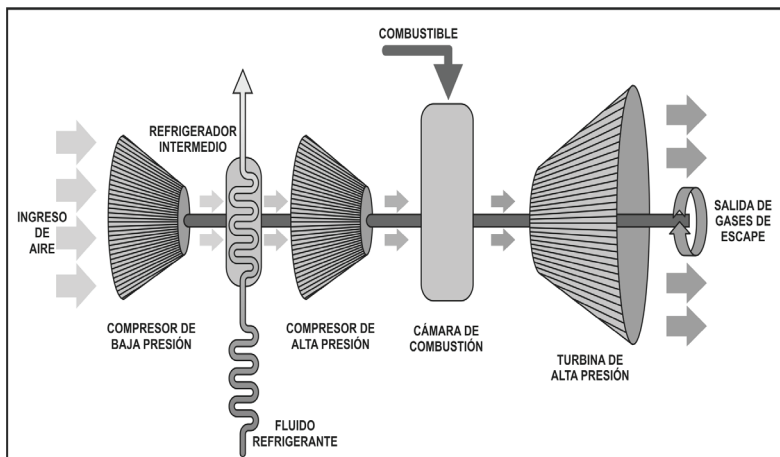
Existe la posibilidad de mejorar la eficiencia termodinámica del ciclo Brayton, mediante modificaciones al ciclo original que ofrecen la posibilidad de optimizar el uso de los gases para de alguna manera variar la potencia regulando mejor el consumo de combustible; con esto, se logra eficiencias a cargas parciales mucho más favorables. Se ha considerado como las modificaciones más importantes del ciclo a lo siguiente:

a) El Ciclo Brayton con regeneración intermedia:

En las turbinas a gas, la temperatura de los gases de escape a la salida de la turbina es significativamente más alta que la temperatura del aire que sale del compresor. El concepto de esta variación al ciclo es aprovechar esa diferencia de temperatura para precalentar el aire antes de su ingreso a la cámara de combustión; esto reduce los requerimientos de entrada de calor y consigue, de esta manera, ahorro de combustible.

Para lograr esto, los gases calientes que ya han trabajado en la turbina de potencia son direccionados hacia un intercambiador de calor ubicado entre el compresor y la cámara de combustión con la finalidad de elevar la temperatura del aire (véase diagrama).

Turbina a Gas con Regeneración Intermedia

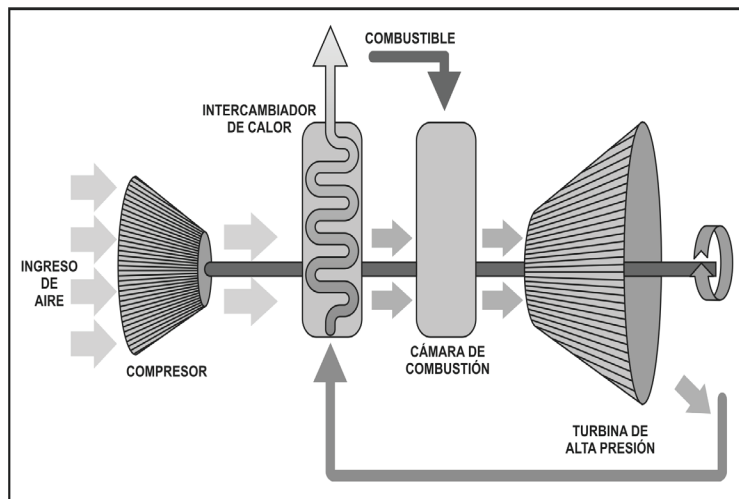


Esta variación mejora la eficiencia del ciclo, pero lograrlo requiere, a su vez, incremento del peso, tamaño y complejidad de la turbina, lo cual implica mayores costos de instalación y mantenimiento. El uso de un regenerador con eficacia alta debe, por lo tanto, ser evaluado detenidamente. La mayoría de las turbinas con regeneradores en la práctica tienen eficiencias ligeramente por encima de las turbinas sin regenerador.

b) Ciclo Brayton con refrigeración intermedia:

Esta variación de ciclo Brayton consiste en incorporar, entre etapas de compresión del aire de admisión, un intercambiador de calor con la finalidad de enfriar el aire reduciendo el volumen de este y, por lo tanto, aumentando la masa de aire que ingresa a la cámara de combustión.

Turbina a Gas con Regeneración Intermedia



4.3 Motores a Reacción

Los motores a reacción son turbinas a gas (TAG) empleadas en propulsión de aeronaves. A continuación, se presentan los tres tipos más comunes de motores de reacción.

4.3.1 El Turborreactor

En los turborreactores, el aire que ingresa se comprime y pasa a la cámara de combustión; combinándose con el combustible y generando alta temperatura, estos gases calientes generados hacen girar una turbina que tiene la única función de mover el compresor. Estos gases pasan posteriormente a través de una tobera que los acelera aun más transformando la energía térmica de estos en energía cinética para generar el empuje de la aeronave por el efecto del principio de acción-reacción.

Este tipo de turbinas genera gran potencia, pero su consumo de combustible es muy elevado; generalmente, son empleadas en aviones interceptores.

4.3.2 El Turbohélice

Es una turbina a gas (TAG) de dos ejes. El primer eje une la turbina de alta presión con el compresor y el otro eje une la turbina de potencia a una hélice que constituye el propulsor de la aeronave. Luego, los gases salen por la parte posterior de la turbina pasando por una tobera que genera un modesto empuje adicional que contribuye con la propulsión de la aeronave.

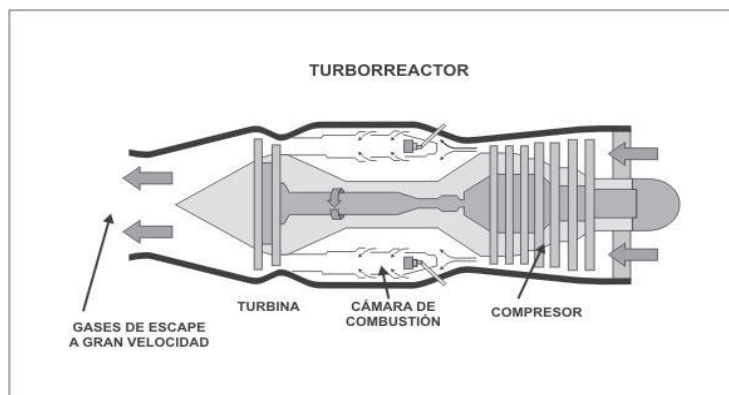
En estos motores, casi toda la potencia la genera la hélice. Sólo un 10% del empuje se debe a los gases del escape que pasan por la tobera de salida, efecto acción–reacción.

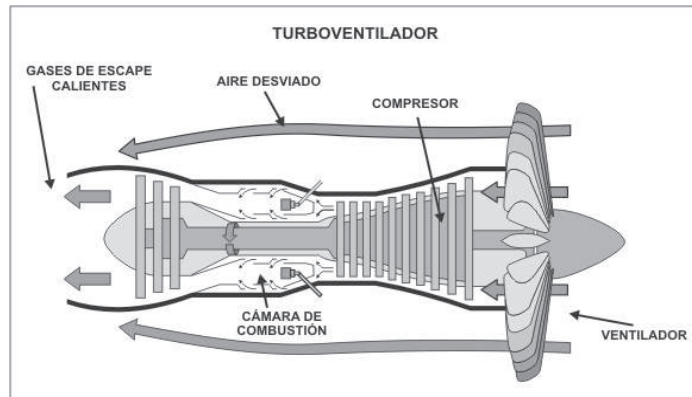
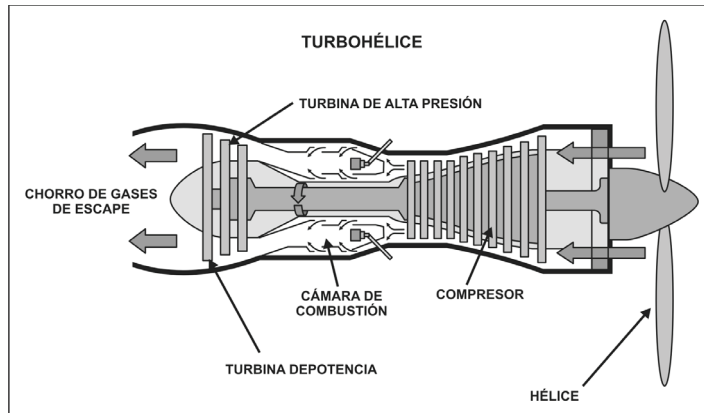
4.3.3 El Turboventilador

Este tipo de turbina a gas (TAG) cuenta con un componente adicional, un ventilador que es accionado por el mismo eje que mueve el compresor, cuya función es generar un chorro de aire. Este aire tiene la función de fluir alrededor del motor para, después de combinado con los gases calientes generados en la cámara de combustión, pasar por la tobera de salida, y generar el empuje respectivo.

El efecto de este flujo de aire adicional es reducir el ruido y el consumo de combustible mejorando el rendimiento de la turbina a velocidades medias, razón por la cual es empleado en aeronaves comerciales o en unidades de exploración aérea que requieren de gran autonomía a velocidades medias.

Motores a Reacción



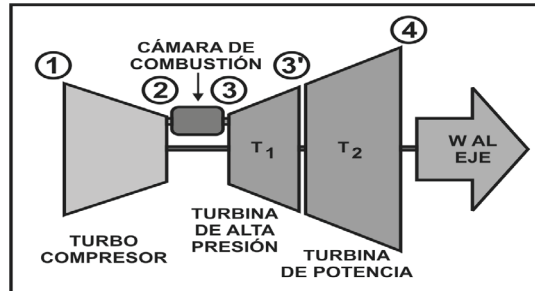


4.3.4 Diferencias entre las Turbinas a Gas Marinas y los Turborreactores

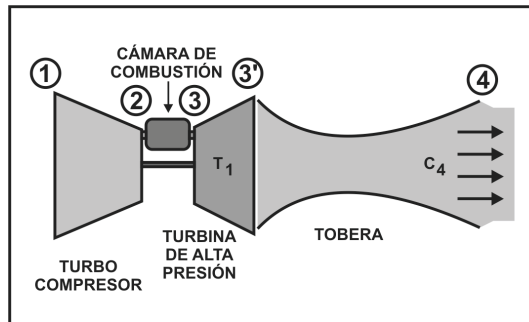
La diferencia principal entre los turborreactores y las turbinas a gas marinas está dada por la forma como es transformada la energía de los gases de escape para la propulsión. En el caso de los Turborreactores, esta es transformada en empuje en una tobera de salida, en la cual el chorro de gases produce el movimiento de la aeronave por efecto de Acción-Reacción, o, en algunos casos, accionando una hélice como es el caso de los turbo-hélice explicados anteriormente.

En las turbinas a gas marinas, existe siempre una segunda turbina denominada turbina de potencia, la cual tiene un eje separado al de la turbina que mueve el compresor y es mediante este eje que el motor entrega la potencia necesaria para la propulsión. Este eje está conectado al engranaje reductor mediante algún tipo de acoplamiento y al eje de propulsión del buque, el cual finalmente hace girar la hélice.

Turbina a Gas marina TAG



Turbinas a Reacción



4.4 Turbina a Gas Marina: LM 2500

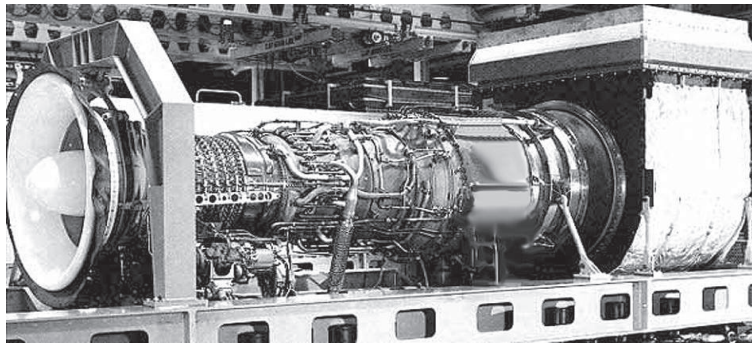
4.4.1 Generalidades

La Turbina a Gas LM-2500 General Electric o fabricada bajo licencia por la Fiat Aviazione es una turbina de propulsión marina, empleada para la propulsión de unidades navales militares en instalaciones del tipo CODOG (Combinación Diésel o Gas) y COGAG (Combinación Gas y Gas), entre otras plantas combinadas. Deriva directamente de la familia de las turbinas tipo CF6 (General Electric) empleadas en aviones comerciales y de las turbinas militares TF39 usadas en aeronaves tipo Galaxi C5 de transporte.

Actualmente, existe una gran cantidad de turbinas a gas LM-2500 en servicio en una diversidad de cruceros, fragatas y destructores en sus diversas versiones: desde las iniciales LM-2500 de 21.500 BHP hasta las LM-2500 de 26.250 BHP y las versiones más modernas LM-2500+ de 29.500 a 39.000 BHP, que logran mayores potencias y mejores eficiencias aumentando la circulación de aire, agregando una etapa de compresión y mejorando sus diseños y materiales. Principio de Funcionamiento:

La TAG LM-2500 es una turbina a gas de ciclo abierto. El aire es aspirado y comprimido por un compresor axial de 16 etapas y enviado a una cámara de combustión del tipo anular, donde, junto con el combustible que ingresa por los inyectores, forma una mezcla uniforme que es encendida por dos bujías. Los gases generados que se encuentran a alta temperatura producto de la combustión proveen energía en parte a una primera turbina, Turbina de Alta Presión de dos etapas, que acciona al compresor, y, posteriormente, accionan una segunda turbina, denominada Turbina de Potencia de seis etapas, la cual va conectada al eje de propulsión por medio de acoplamientos y reductores generando la potencia necesaria para el movimiento del buque.

Turbina LM-2500 durante instalación en un buque



Características de las Turbinas LM-2500

- Compresor axial de dieciséis (16) etapas.
- Cámara de combustión anular con treinta (30) pulverizadores de combustible.
- Turbina de alta presión axial de dos (02) etapas.
- Turbina de baja presión axial de seis (06) etapas.
- Sentido de rotación: Horario.
- Peso de la turbina: 4,680 kg aprox.
- Dimensiones: 2160 x 110 x 6605 mm.
- Potencia máxima: 25,000 CV.
- RPM Turbina de Potencia: 3600 RPM.
- Consumo específico de combustible: 192 g /CV-hr.
- RPM del Generador de Gases: No superior a 9,500 RPM.
- Temperatura de gases de descarga: Al ingreso de la turbina de potencia, no superior a 860 °C.

Estas características de servicio de la TAG LM-2500 están referidas a las siguientes condiciones:

- Presión del ambiente: 760 mm Hg.
- Temperatura del aire de ingreso: 22 °C
- Humedad relativa: 70%.
- Aire drenado del compresor para servicios auxiliares a bordo: 0 kg/seg.
- Combustible utilizado: Tipo diésel conforme a especificaciones con poder calorífico de al menos: 10,200 kcal/kg.
- Aceite lubricante: tipo sintético de acuerdo con las especificaciones técnicas.
- No más de tres lanzamientos consecutivos.

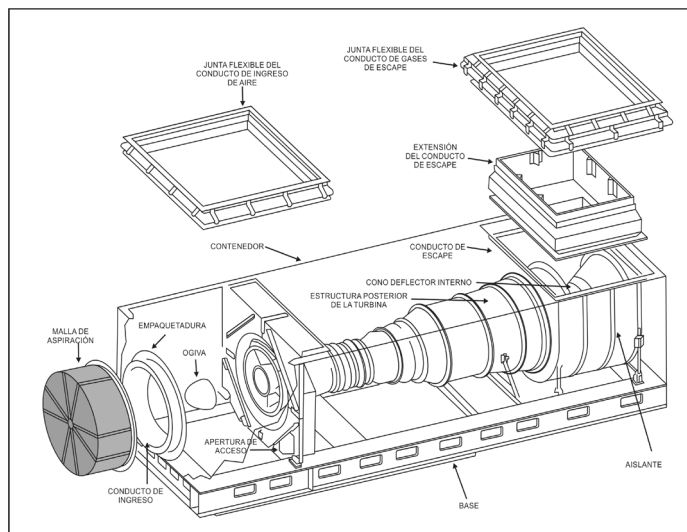
Para estas condiciones, está previsto que cada turbina no requiera de revisiones generales antes de haber totalizado 3,000 horas de funcionamiento.

4.4.2 Componentes Principales

La Turbina a Gas LM-2500 de aplicación marina cuenta para instalación completa a bordo de unidades navales con los siguientes componentes principales:

- El Conjunto: Base/Contenedor
- La Turbina a Gas
- El Módulo de Lubricación
- La Unidad de Comando y Control
- El Módulo de Lavado

Diagrama de Turbina a Gas LM-2500 sobre su Base-contenedor a ser instalada a bordo UUNN



4.4.2.1 El Conjunto: Base/Contenedor

Tiene la función de proveer aislamiento térmico y acústico a la turbina a gas. Es instalado durante la construcción del buque y, a partir de ese momento, ya no es posible su remoción.

El conjunto completo comprende las siguientes partes:

- La Base
- Los Soportes anti-choque
- El Contenedor
- El Sistema de ingreso y de descarga de aire
- El circuito de ventilación
- El sistema anti-hielo
- El sistema de alarma y extinción de incendio
- El calentador
- El Sistema de Iluminación

La Base:

Es de forma rectangular y está constituida por una estructura de acero revestido de material aislante, soldada, a manera de una plataforma estable diseñada para sostener y para absorber las vibraciones que puedan transmitirse de la turbina al casco del buque o del buque a la turbina; para ello, cuenta con 32 soportes anti-choque.

Adicionalmente, todas las conexiones e interfaces entre el sistema y la turbina hacia el exterior están ubicadas en la parte inferior de esta base.

Los Soportes Anti-choque:

El sistema Base-contenedor está unido al casco, como mencionamos anteriormente, por los 32 soportes anti-choque. Estos soportes absorben la mayor parte de los movimientos bruscos de la nave.

Para fijar la turbina a gas y el conducto de descarga a la base del contenedor, se cuenta con 11 soportes que proveen la fijación vertical, lateral y axial. La extremidad anterior de la turbina está sostenida por un (01) gran soporte a la base y dos soportes fijos a la estructura anterior.

Contenedor:

Es una envoltura aislante al sonido y resistente al calor dentro de la cual está instalada la turbina. Está unida a una junta flexible que se acopla tanto al conducto de aspiración como al de descarga del buque; cuenta,

además, con conexiones al conducto de aire de ventilación.

El acceso para el mantenimiento y control en las fragatas tipo “Carvajal” y “Aguirre” puede efectuarse a través de una puerta de acceso lateral, estancia con lunas de inspección, además de un acceso de emergencia en la parte superior. En la parte exterior del Contenedor, está dispuesto un cuadro eléctrico que consta de lo siguiente:

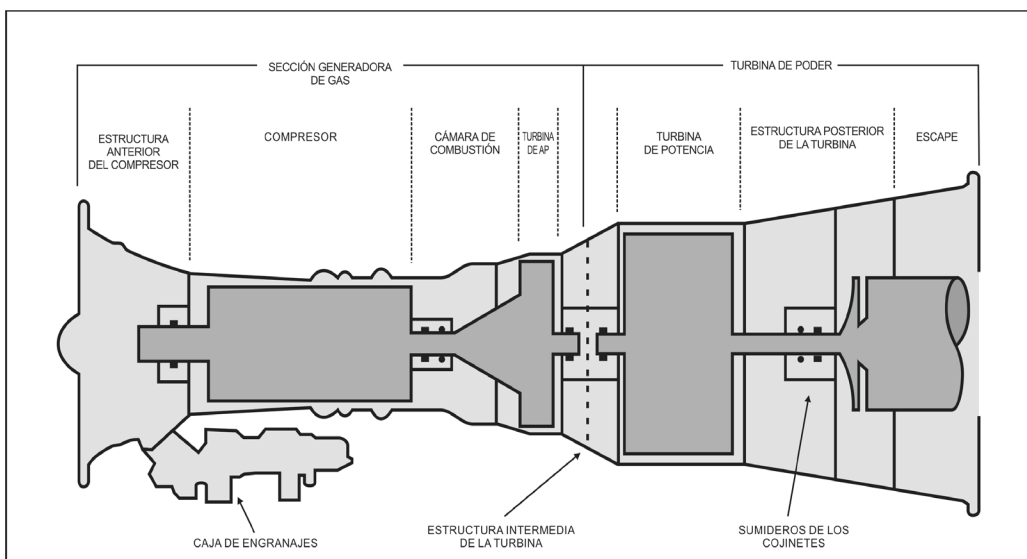
- El interruptor para la iluminación interna del módulo
- El interruptor para la desactivación del sistema conta-incendios de CO₂
- El pulsante de activación del sistema de CO₂ en caso falle el sistema automático

4.4.2.2 La Turbina a Gas

Es la turbina a gas propiamente dicha y está compuesta de los siguientes componentes:

- Un Generador de Gases (GG)
- Una Turbina de Potencia (TP)
- Un Eje Flexible de Alta Velocidad
- Un Conducto de Descarga
- Un Conducto de Aspiración
- Una Ojiva

Diagrama Seccional de la Turbina a Gas LM-2500



Generador de Gases (GG):

El Generador de Gases (GG) tiene la función de generar gases de combustión calientes que puedan ser empleados para el funcionamiento de las turbinas de Alta Presión y de Potencia. Está subdividido, a su vez, en los siguientes componentes principales:

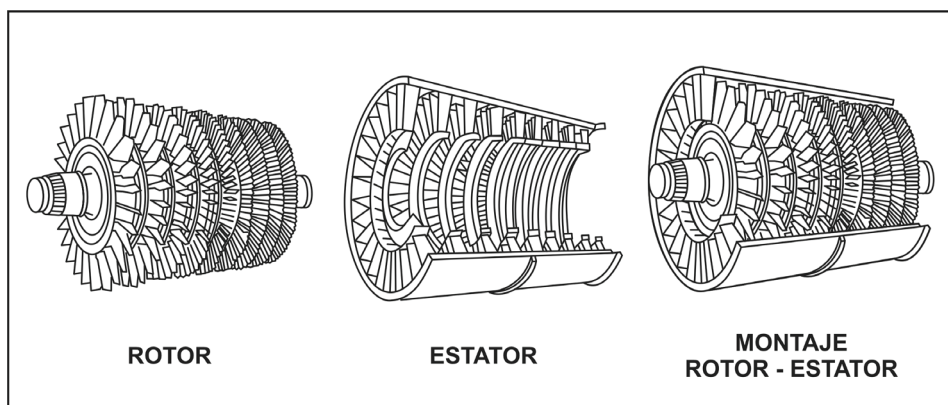
- Un Compresor
- Una Cámara de Combustión Anular
- Una Turbina de Alta Presión
- Una Caja de Engranajes
- Un Gobernador y Accesorios

Compresor:

Es un compresor de flujo axial de 16 etapas. Su función principal es comprimir el aire para alimentar la cámara de combustión y proveer al mismo tiempo el aire necesario para otros usos, como la refrigeración y presurización de la turbina y para proveer aire para el funcionamiento del sistema anti-hielo.

El aire que ingresa a través de la Estructura Anterior del Compresor (EAC) es comprimido en sucesivas etapas hasta alcanzar una razón de compresión de 16 a 1.

Esquema de un Compresor Axial



El aire que ingresa al compresor pasa por las denominadas palas guía de ingreso de aire, las cuales junto a las primeras seis etapas de álabes del estator son orientables, (álabes de geometría variable IGV).

Álabes de Geometría Variable (IGV)

Es un sistema hidráulico que tiene la finalidad de variar la posición angular de las palas guía de ingreso de aire y las seis primeras etapas de álabes fijos del compresor, en función de la temperatura del aire de ingreso y del número de RPM de este. Esto permite un funcionamiento continuo del compresor libre de “Stoll” entre un amplio rango de RPM y temperaturas del aire de ingreso.

El Compresor consta de los siguientes componentes:

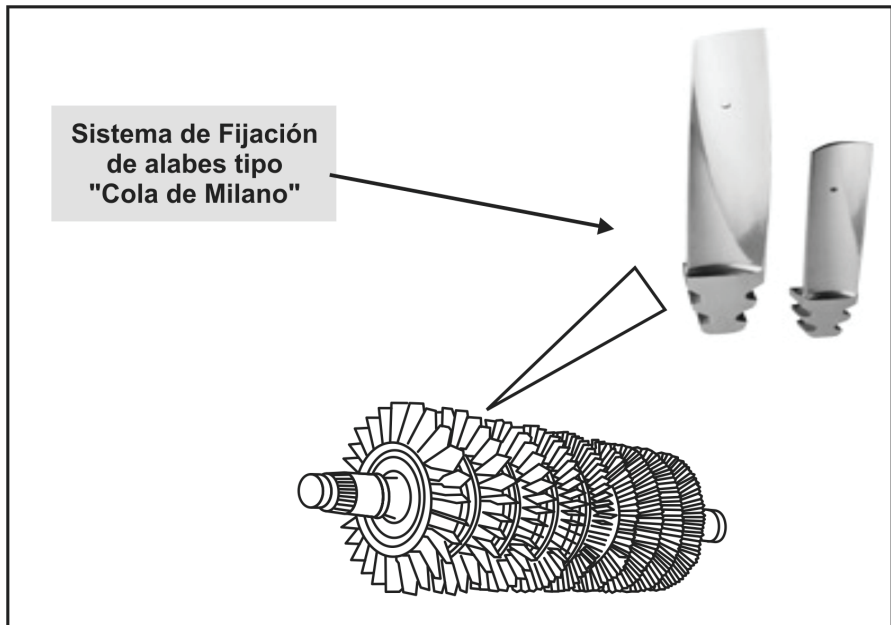
- Toma de aire
- Estructura anterior
- El Núcleo
- El Rotor
- El Estator
- Estructura posterior

Estructura Anterior del Compresor: Forma un canal para el flujo uniforme de aire de ingreso al compresor. Está compuesta por:

- Una cubierta exterior, que sirve para conectar el ducto de admisión de aire y la parte frontal de la cubierta del estator.
- El soporte inferior de las paletas guías de entrada.
- Los soportes frontales.
- Los soportes de manipuleo de maniobra.
- La caja de engranajes de transferencia.
- El sensor de temperatura de ingreso a la probeta sensora de la presión de entrada.
- Los 5 rayos soportes. Estructuras huecas igualmente espaciadas, las cuales sirven como pasajes para el aceite de lubricación y de retorno para el aire de presurización y venteo y para el paso del “eje de mando radial” (como veremos más adelante).

El Núcleo: Aloja el sumidero donde se encuentra alojado el cojinete de rodillos Nro.3 y provee puntos de sujeción para al Caja de Engranajes y la cubierta del sumidero.

El Rotor: Es una estructura del tipo carrete/disco; consta de 16 etapas y el sistema de fijación de las paletas es con base tipo cola de milano.



El Estator: Tiene montado una etapa de paletas guía de ingreso de aire y 16 hileras de paletas estatoras. Las paletas guía de ingreso de aire y la primeras 6 hileras de paletas son orientables y forman parte del sistema IGV, como explicamos anteriormente. En la parte externa lateral, tiene montada una palanca, que es el actuador de estas paletas orientables.

Asimismo, tiene soldados tres colectores de aire de drenaje que cumple funciones de refrigeración, presurización y sellado dentro de la turbina.

Cámara de Combustión Anular:

Su función principal es proporcionar un lugar donde el aire sea mezclado con el combustible para que esta mezcla sea posteriormente quemada; así, se produce la energía térmica requerida para la operación de la máquina. Es del tipo anular; es decir, tiene la forma de un anillo al rededor del eje del compresor. Está alojada en el interior de la estructura posterior del compresor y tiene como características:

- Uniformidad de combustión
- Estabilidad de flama
- Mínima pérdida de presión
- Facilidad de encendido
- Menor área de refrigeración requerida

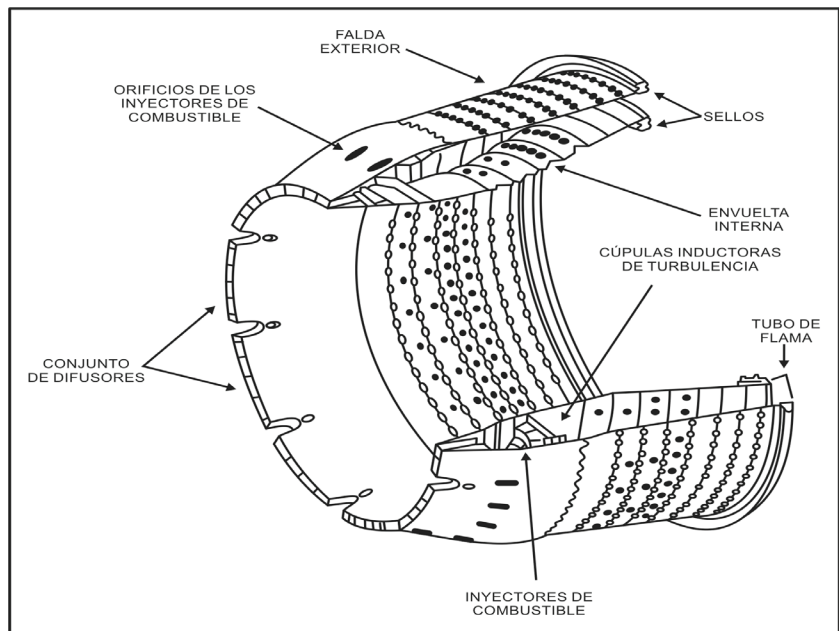
Está dividida en las siguientes partes:

Conjunto de Difusores: Está localizado en la parte frontal de la cámara de combustión. La parte posterior está unida a las envueltas de la camiseta de la cámara de combustión y, entre estas dos partes, están sujetas las cúpulas. Proporciona un flujo uniforme de aire a la cámara de combustión para una combustión uniforme y una distribución de la energía térmica de los gases equitativa a su ingreso a la turbina de alta presión.

Conjunto de Cúpulas: Está ubicado en la unión del conjunto de difusores y la camiseta. Está conformada por 30 pequeñas cúpulas inductoras de turbulencia. Su función es proporcionar una ligera turbulencia al aire de combustión con una dirección tal que sirva para la estabilización de la flama. El efecto de la turbulencia en el aire es con el propósito de mejorar la mezcla del aire y el combustible.

Camiseta o tubo de Flama: Está constituida por dos envueltas: la envuelta externa, de mayor diámetro, y la envuelta interna, de menor diámetro. El espacio entre estas dos envueltas es el lugar en donde se produce la combustión. Las envueltas de la camiseta están provistas de orificios, por donde ingresa el aire que sirve para centrar la flama y balancear la combustión.

Esquema de la Cámara de Combustión anular de la TAG LM-2500



Funcionamiento de la Cámara de Combustión

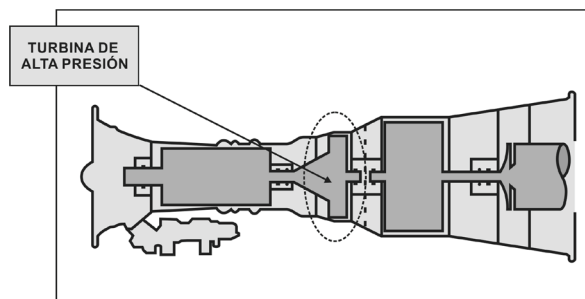
El aire procedente de la descarga del compresor pasa entre los diez rayos de la estructura posterior del compresor e ingresa a la cámara de combustión. Una vez que pasa por esta área, se produce una división del flujo de aire.

El 25% es dirigido al conjunto de difusores. Este aire pasa a través de las cúpulas, donde se le introduce una turbulencia para mejorar la mezcla aire-combustible y estabilizar la flama; luego, el flujo de aire pasa al interior de la Camiseta o Tubo de Flama, donde es mezclado con el combustible, introducido por los inyectores. Esta mezcla es encendida inicialmente por las bujías; luego, la combustión es constante y auto-sostenida.

El 75% restante del aire descargado por el compresor es dirigido por el exterior de los difusores y pasa rodeando la Cámara de Combustión. El propósito de esta masa de aire es enfriar las paredes de la camiseta y la 1ra etapa de paletas fijas del estator de la Turbina de Alta potencia (TAP); además, debe centrar la flama dentro de la camiseta. Esta función se realiza cuando el aire es introducido dentro del tubo de flama a través de orificios de las envueltas.

Turbina de Alta Presión

Esta turbina tiene la función de proporcionar la potencia necesaria para el movimiento del compresor y recibe directamente los gases de escape de la cámara de combustión; por lo tanto, es la parte de la turbina que tiene las más altas exigencia térmicas. Es una turbina de flujo axial de dos etapas, y está compuesta de las siguientes partes:



El Estator: Conformado por un conjunto de paletas fijas denominadas "Paletas Distribuidoras" por la función que desempeñan. Consta de dos coronas de paletas fijas distribuidoras; así, tenemos el distribuidor de la

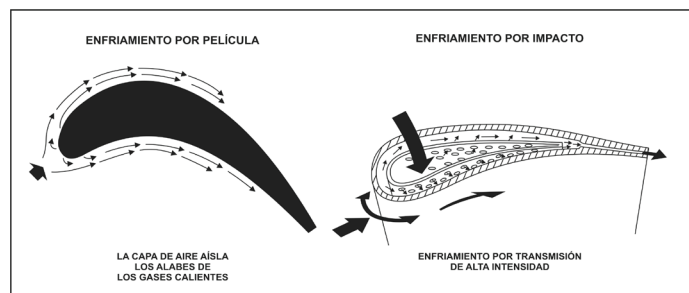
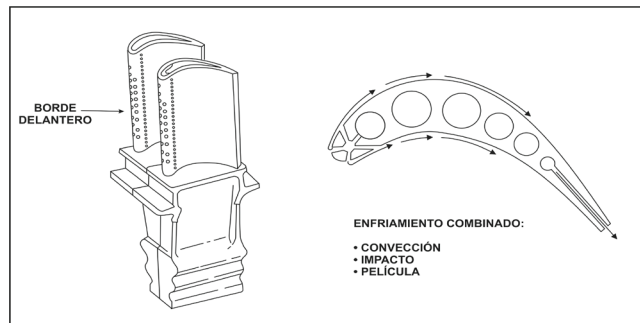
1ra etapa y el distribuidor de la 2da etapa.

Las paletas fijas que conforman los distribuidores son huecas y tienen orificios en sus paredes con la finalidad de proporcionar pasajes de aire de enfriamiento, debido a las altas temperaturas a las que están sometidas.

El distribuidor de la 1ra etapa es refrigerado por el aire de descarga del compresor de la 16ta etapa que ingresa por el interior de las paletas; posteriormente, esta masa de aire sale por los orificios de las paredes de las paletas formando una leve película que las envuelve protegiéndolas del contacto de los gases calientes.

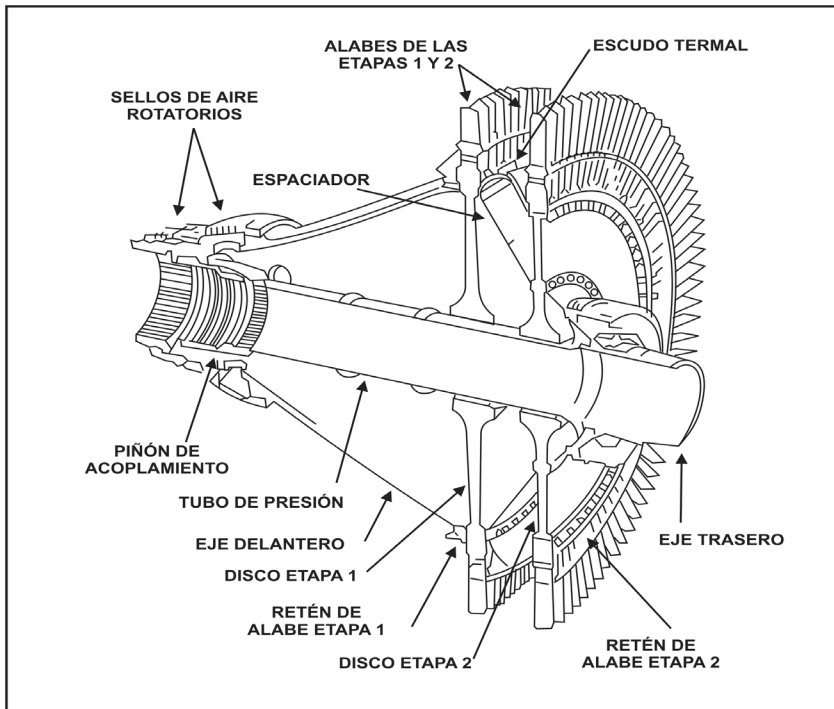
El distribuidor de la 2da etapa es refrigerado por el aire de descarga del compresor de la 13ra etapa que ingresa por el interior de las paletas. Una parte de esta masa de aire sale por los orificios de las paredes de las paletas mezclándose con los gases de la combustión. (Ver Diagrama)

Tipos de
Enfriamiento de
paletas del rotor y
estator



El Rotor: Está conformado por un conjunto de álabes móviles que transforman parte de la energía térmica de los gases en trabajo mecánico. Es enfriado por un continuo flujo de aire tomado de la descarga del compresor de la 16ta etapa. Este se extrae a través de orificios de la estructura posterior del compresor y es conducido al interior del rotor. El flujo de aire a su paso va enfriando las raíces de las paletas, el eje y la superficie interna de las paredes del rotor.

Corte seccional del rotor de la Turbina de Alta Presión



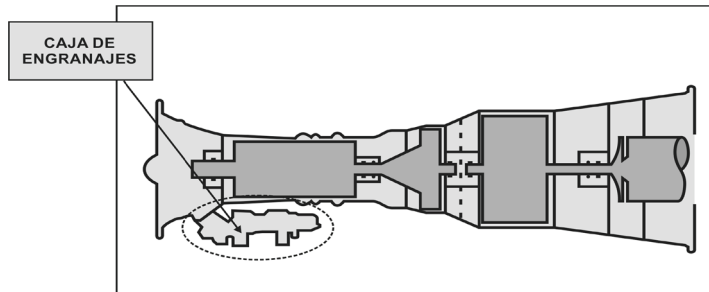
La Estructura Intermedia de la Turbina (EIT): Está ubicada después de la turbina de alta presión (TAP) y antes de la turbina de potencia (TP) y tiene directa relación entre las dos. Su función es soportar el extremo posterior del rotor de TAP y el extremo anterior del rotor de la TP. Forma un conducto para un flujo suave y uniforme de los gases entre la TAP y la TP y proporciona el alojamiento para el distribuidor de aire de la 1ra etapa de la TP. Está compuesta por las siguientes partes:

- La Envuelta Externa e Interna. Entre estas envoltas, pasan los gases calientes de la TAP a la TP. En la envuelta externa, van montados sensores de temperatura y de presión para monitorear la presión y la temperatura de los gases de la combustión al ingreso a la TP. La envuelta interna y la pared externa del núcleo es refrigerada por el aire extraído de la 9na etapa del compresor.
- El Núcleo. Forma en su interior el sumidero "C" de lubricación que es donde van alojados los cojinetes de rolas que sostiene el eje del generador de gases GG y el eje de la TP, respectivamente.
- Los Rayos. Tienen por finalidad direccionar los gases a la salida de la TAP, manteniendo un flujo casi laminar de estos en su camino a la TP.

Caja de Engranajes

Tiene la función de transmitir la torsión o torque del arrancador neumático al eje del generador de gases (GG) durante el proceso de arranque o lanzamiento de la turbina. Asimismo, debe transmitir el movimiento a los accesorios arrastrados por la turbina una vez que esta se encuentra en funcionamiento. Los mecanismos que van conectados a esta son los siguientes:

- La Bomba de suministro/recuperación de aceite.
- La Bomba de combustible.
- La Unidad de control de combustible.
- El Arrancador neumático.



Consta de tres componentes:

- La Caja de Engranajes Interna (CEI). Está ubicada en el interior del núcleo de la EAC y está compuesta por un eje, dos engranajes cónicos y rociadores de aceite para lubricación.
- El Eje de Transmisión Radial (ETR). Está ubicado en el interior de uno de los rayos de la EAC y es instalado perpendicularmente al eje del compresor. El eje de la caja interna en el extremo posterior va acoplado al eje del compresor y en el extremo anterior al eje de transmisión radial.
- La Caja de Engranajes Externa (CEE). Ubicada debajo de la EAC a la cual va empernada; su función es transmitir el torque desde el eje de transmisión radial hacia los accesorios. Consiste en un bloque dividido en dos secciones, además de un **Separador de Aire/Aceite**, sellos y distribuidores de aceite.

El Separador de Aire/Aceite

Utiliza la fuerza centrífuga para separar el aceite y el aire. El aire proviene de todos los colectores de aceite de la turbina en los que ha servido para presurización, e ingresa al separador con residuos de aceite que ha arrastrado fuera de los colectores. En el separador, estos residuos son atrapados para luego ser enviados nuevamente al sistema de lubricación; el aire es enviado al conducto de escape de la máquina.

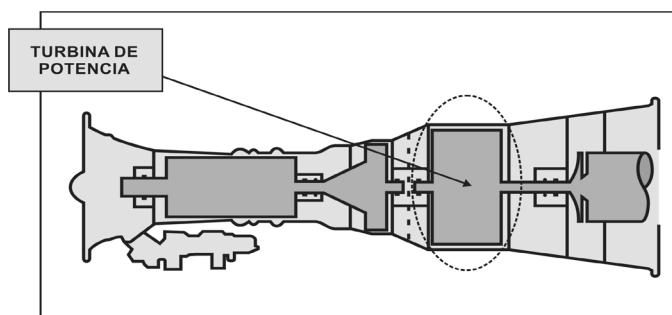
Un Gobernador y Accesorios

Conformados por los accesorios que van montados en la superficie posterior de la caja de engranajes externa, los cuales son:

- La Bomba de Combustible, que, a su vez, constituye el gobernador de la turbina.
- El Arrancador Neumático.
- La Bomba de Suministro/Recupero de aceite.

Turbina de Potencia (TP)

También llamada Turbina de Baja Presión. Está ubicada inmediatamente después de la estructura intermedia de la turbina (EIT) y antes de la sección de escape de la turbina a gas TAG. No está unida físicamente al eje del generador de gases (GG) y su función es extraer la energía de los gases calientes que han trabajado en la TAP para utilizarlos en generar la potencia requerida para propulsar la nave.



Es una turbina del tipo axial de seis (6) etapas; para su funcionamiento, utiliza aproximadamente un tercio de la energía producida por la máquina.

Funcionamiento de la Turbina de potencia (TP)

La TP trabaja con los gases calientes provenientes del generador de gases (GG). Este flujo de gases que ya se encuentra a gran velocidad actúa sobre las paletas del rotor en cada una de las 6 etapas, causando la rotación de este. El eje de la Turbina de Potencia (TP) está conectado mecánicamente con otro eje denominado eje de salida o eje flexible de alta velocidad, el cual transmite la potencia mediante un acople al tren propulsor del buque.

Consta de los siguientes elementos:

El Estator. Es la parte fija de la turbina; consta de anillos de toberas que sirven para direccionar los gases y aumentar su velocidad en cada una de las 6 etapas.

El Rotor. Es del tipo tambor y carrete y constituye la parte rotatoria de esta turbina; está conformado por empaquetados de álabes; también existen 6 etapas del rotor.

La Estructura Posterior de la Turbina. Forma parte de la Turbina de Potencia (TP) y está ubicada en la parte posterior de esta. Sus funciones específicas son:

- Soportar el lado posterior del rotor de la TP.
- Sostener el lado posterior del estator de la TP.
- Formar el conducto para que los gases de escape fluyan hacia el exterior.
- Soportar el eje frontal del eje del acoplamiento flexible de alta velocidad.
- Contener los rayos que direccionan los gases de escape.

La EPT consta de las siguientes partes:

- La Envuelta Externa.
- El Núcleo.
- Los Rayos.

Eje Flexible de Alta Velocidad

El eje flexible de alta velocidad está acoplado al rotor de la Turbina de Potencia (TP) y es el que provee la potencia al sistema de propulsión de la nave. Tiene la función de conectar la turbina con los engranajes reductores mediante un acoplamiento absorbiendo vibraciones axiales y radiales.

Ductos de Aspiración y Descarga

El conducto de ingreso y la ojiva son componentes del sistema de aspiración de aire de la turbina, que tienen por objeto inducir cierto flujo laminar en el aire de ingreso. Son parte también de este sistema los filtros de aire de ingreso y el sistema anti-hielo, los cuales tienen la función de prevenir el ingreso de objetos extraños a la turbina junto con el aire, lo cual podría ocasionar serios daños, conocidos como “Foreign Objects Damage” o por sus siglas en inglés (FOD).

El Conducto de Descarga, el cono externo y el deflector interno son componentes del sistema de descarga de gases de escape de la turbina, que tiene la finalidad de facilitar la salida de estos a las “chimeneas” del buque.

4.4.2.3 El Módulo de Lubricación

El módulo de lubricación es un grupo autónomo que alimenta de aceite de lubricación: refrigerado y filtrado a la turbina. El funcionamiento del sistema de lubricación será visto más adelante.

4.4.2.4 La Unidad de Comando Y Control

La unidad de Comando y Control AN-600 en las fragatas clase “Carvajal” contiene el sistema electrónico que provee el control de la operación de la turbina a gas LM-2500.

4.4.2.5 El Módulo de Lavado

El módulo de lavado se encuentra separado de la TAG y sirve para el lavado de las paletas del compresor; sin embargo, posteriormente, se le efectuó modificaciones y, en algunas unidades, también puede lavarse hasta la turbina de alta presión.

En la distribución de la planta de propulsión de las fragatas clase “Carvajal”, hay un solo módulo de lavado que es usado para las dos turbinas y está compuesto de:

- Dos tanques de lavado
- Una electro bomba centrífuga
- Un panel de control

Los tanques tienen una capacidad de 90 litros con solución de lavado, agua destilada-detergente líquido, y 150 litros de agua destilada para el enjuague.

Al final del lavado, se eliminan los residuos de agua estancada en las tuberías mediante un chorro de aire comprimido.

Su función principal es remover las incrustaciones salinas que inevitablemente se depositan sobre las paletas fijas y móviles, que puedan afectar el rendimiento de la turbina y aumenten el consumo de combustible.

4.4.3 Sistemas Principales

Para el funcionamiento de la Turbina a Gas LM-2500, es necesario llevar a cabo diversas funciones, las cuales son realizadas por diferentes sistemas. A continuación, se describirán los componentes y el funcionamiento de los sistemas principales asociados a esta turbina:

- El Sistema de Lubricación.
- El Sistema de Combustible.
- El Sistema de Encendido.
- El Sistema de Aire.
- El Sistema de Lanzamiento.

4.4.3.1 El Sistema de Lubricación

La función principal de este sistema es proveer aceite libre de impurezas y a una temperatura adecuada, para la lubricación a los cojinetes, y engranajes de la turbina.

Es del tipo “cárter seco”; no cuenta con un depósito único de aceite, sino, más bien, envía permanentemente aceite a unos pequeños contenedores presurizados con aire, los cuales contienen los cojinetes que soportan a los ejes del generador de gases (GG) y de la turbina de potencia (TP), los que se denominan “sumideros”; para este fin, utiliza aceite sintético.

Este Sistema se divide, a su vez, en tres Sub-sistemas:

Sub-sistema de SUMINISTRO de aceite. Abastece de aceite lubricante.

Sub-sistema de RECUPERACIÓN de aceite. Recoge el aceite después de haber lubricado los cárteres y la caja de transmisión para retornarlo al tanque de almacenamiento.

Sub-sistema de VENTEO de cárteres. Evacua el aire de presurización mezclado con vapores de aceite provenientes de los cuatro cárteres y de la caja de transmisión y lo dirige al separador de aceite.

Componentes del Sistema:

Tanque de Almacenamiento:

Almacena el aceite sintético y está ubicado en el exterior del contenedor en el módulo de lubricación. Es de forma cilíndrica, con capacidad máxima de 32 galones ó 118 litros, dependiendo de la unidad; su nivel normal de operación es entre 18 y 24 galones.

Además de visores, cuenta con un sensor electrónico de control de nivel de aceite. El rellenado del tanque se efectúa en forma manual; además, tiene una tubería de drenaje para vaciar el aceite en caso de que sea necesario algún trabajo de inspección o mantenimiento.

Bomba de suministro/recupero de aceite:

Se encuentra instalada en la parte posterior derecha de la caja de engranajes externa. Es una bomba de desplazamiento positivo.

Tiene seis (06) elementos de bombeo: uno para suministro de aceite y los cinco restantes para recuperación del aceite. Cada uno de estos cinco elementos tiene sus respectivas tuberías de succión, pero todos descargan a un solo conducto de salida.

Filtros:

Existen dos filtros **Dúplex** instalados en dos Sub-sistemas diferentes:

El Filtro de Aceite de Suministro. Filtra el aceite que va a los cuatro cárteres y a la caja de transmisión, el cual está instalado en la línea de suministro de aceite posterior a la bomba, montado al lado derecho de la base del contenedor.

El Filtro de Recuperación de Aceite. Filtra el aceite proveniente de los cuatro cárteres y de la caja de transmisión; está instalado en la línea de retorno de aceite posterior a la bomba, montado en el módulo de lubricación.

Estos filtros cuentan con dos elementos filtrantes de iguales características, los cuales son utilizados uno a la vez; para ello, se cuenta con un selector manual que selecciona el elemento en operación. Tienen un sistema by-pass que permite la no interrupción del abastecimiento de aceite al sistema en caso de obstrucción del elemento filtrante durante el funcionamiento de la turbina.

Válvulas de no-retorno:

El Sistema cuenta con tres válvulas de no-retorno:

De suministro. No permite que el aceite almacenado en el tanque fluya a los cárteres y a la caja de transmisión cuando la máquina está parada. Está instalada en la línea de suministro de aceite posterior al filtro de suministro.

Para aislar los cárteres. Aísla los cárteres del resto del sistema cuando un medio externo de lubricación está siendo usado. Está instalada en la línea de suministro de aceite para los cárteres.

De Recuperación. No permite el retorno del aceite desde el tanque de almacenamiento a los cárteres y a la caja de transmisión por la línea de recuperación de aceite. Está instalada en la línea de retorno de aceite posterior a la bomba y al filtro.

Enfriador de aceite:

Es un intercambiador de calor cuya función es transferir parte de calor del aceite sintético que ha trabajado en la turbina a un fluido refrigerante, que en este caso es el del aceite del tren de engranajes.

Está ubicado en el módulo de lubricación y es el aceite sintético el que pasa alrededor de los tubos y el fluido refrigerante pasa por el interior de los tubos.

Separador de aceite:

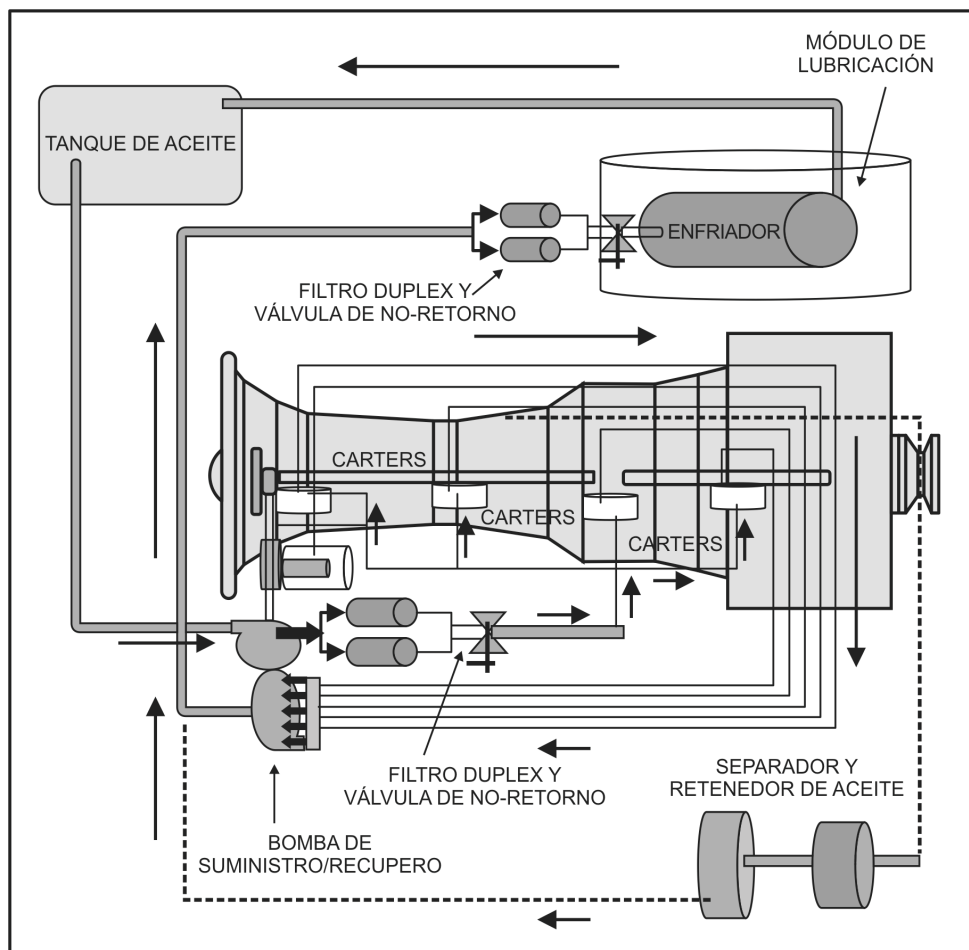
Es un mecanismo que tiene la función de impedir la pérdida del aceite sintético en forma de vapores de aceite que provienen del aire de presurización de los cuatro cárteres y de la caja de engranajes de transmisión. Para lograr esto, dicho aire es dirigido al separador donde la mayor cantidad de aceite contenido en los vapores es separado del aire para luego ser enviado nuevamente al circuito de aceite. El remanente de aceite y aire son expulsados hacia el conducto de escape.

Este mecanismo está montado en la parte anterior derecha de la caja de transmisión.

Retenedor de aceite:

Es un segundo elemento que tiene la finalidad de absorber los residuos de aceite que pueda tener el aire expulsado por el separador y drenarlo a través de una tubería instalada en la parte inferior del retenedor.

Está instalado en la línea de descarga de aire del separador de aceite/aire antes del conducto de escape.

Diagrama del Sistema de Lubricación de la TAG LM-2500

Operación del Sistema

Del Sub-sistema de Alimentación

El tanque de almacenamiento alimenta de aceite a la bomba de Suministro/Recuperación por gravedad; en dicha bomba, el elemento de suministro presuriza y descarga el aceite hacia el filtro duplex, donde las impurezas sólidas son atrapadas; luego, atraviesa la válvula de no-retorno y continúa hacia las tuberías de distribución para los cuatro cárteres y la caja de transmisión de la TAG.

Del Sub-sistema de Recuperación

El aceite empleado para la lubricación es succionado por los cinco elementos de la Bomba de Suministro/Recuperación de aceite a través de sus respectivas tuberías. El aceite recuperado por la bomba es descargado a través de una tubería común y dirigido al exterior hacia el módulo de lubricación.

Ya en este módulo, el aceite pasa por el filtro “duplex” de recuperación a través de la válvula de no-retorno y luego al enfriador de aceite. Finalmente, el aceite es descargado nuevamente al tanque de almacenamiento.

Del Sub-sistema de Venteo

Para evitar el ingreso de gases de la combustión, los sellos de aceite de los cárteres y de la caja de transmisión operan con aire de presurización de la 8ava etapa del compresor.

Durante el sellado, parte del aire de presurización ingresa al interior de los cárteres y a la caja de transmisión.

Este aire es evacuado por el sistema por conductos ubicados en la parte superior de cada compartimiento. Un conjunto de tuberías recolecta y dirige esta mezcla al separador de aceite/aire y, posteriormente, a los retenedores.

4.4.3.2 El Sistema de Combustible

La función de este sistema es abastecer a la turbina de combustible purificado a una presión y volumen adecuados para su correcto funcionamiento.

Además, cumple otras funciones secundarias como proveer de combustible a presión para la operación del sistema regulador de combustible y para el funcionamiento de los actuadores hidráulicos que posicionan las paletas de ángulo variable del compresor IGV descritas anteriormente.

En este sistema, se puede diferenciar los siguientes Sub-sistemas:

El Sistema de Combustible de la TAG, circuito y componentes que se encuentran ubicados dentro del contenedor de la máquina y tienen relación directa con esta.

El Sistema de Servicio de Combustible de la TAG, que lleva el combustible desde los tanques de combustible a la turbina misma.

La LM 2500 utiliza como combustible el Diésel 2 o también el JP5.

Componentes del Sistema:

Bomba de Combustible:

Su función es elevar la presión y proporcionar el flujo de combustible correcto para todo el sistema. Está instalada en la parte posterior izquierda de la caja de transmisión externa en el área inferior de estructura anterior del compresor (EAC) y es accionada por el por el generador de gases (GG) mediante el eje de transmisión radial.

Filtro de combustible de alta presión:

Su función es atrapar las partículas sólidas contenidas en el combustible descargado por la bomba; así, protege al regulador de combustible contra daños por contaminantes sólidos. Está montado en la bomba de combustible.

Este filtro es de un solo elemento del tipo descartable. Tiene una válvula by-pass que se abre cuando el elemento filtrante está obstruido, lo que permite el paso del combustible al regulador de forma constante durante el funcionamiento de la TAG.

Regulador de Combustible:

Cumple básicamente la función de un gobernador de velocidad, regulando el flujo de combustible hacia los inyectores y hacia los actuadores hidráulicos que posicionan las paletas de ángulo variable del compresor para, de esta manera, mantener la velocidad de la turbina de acuerdo con la orden recibida de la consola de control.

Está instalado en la parte posterior de la bomba de combustible dentro de la caja de engranajes externa.

Es la unidad principal de control de la turbina. Siente la velocidad del generador de gases (GG) y la posición de la palanca de control de velocidad, y regula el flujo de combustible necesario para mantener la velocidad de la turbina (Turbina de Potencia) de acuerdo con lo ordenado por el operador.

Válvula de Presurización:

Restringe momentáneamente el flujo de combustible a los inyectores; con ello, asegura una adecuada presión de combustible con la finalidad de mantener una eficiente operación de la parte hidráulica del regulador de combustible y de los actuadores de las paletas de ángulo variable del compresor, durante el proceso de arranque o cuando la velocidad del generador de gases (GG) es relativamente baja.

Se encuentra instalada en la línea de descarga del regulador de combustible hacia los inyectores. Físicamente, está montada en el regulador de combustible.

Válvulas Solenoide de Interceptación:

Controlan el flujo de combustible hacia los inyectores; es decir, cortan o permiten el paso de combustible de acuerdo con la orden recibida de la consola de control.

Son dos válvulas (02) colocadas mecánicamente en serie y eléctricamente en paralelo. Reciben la orden de la consola de control.

Manifold de Combustible:

Distribuye uniformemente el combustible en los treinta (30) inyectores instalados en la cámara de combustión.

Está Instalado en la línea de abastecimiento de combustible, posterior a las válvulas de interceptación y antecedendo a los inyectores. Físicamente, se encuentra montado en la estructura posterior del compresor (EPC).

Inyectores de Combustible:

Son 30 inyectores distribuidos equitativamente que pulverizan uniformemente el combustible dentro de la cámara de combustión. Están localizados en la Estructura Posterior del Compresor (EPC) y penetran hacia el interior de la Cámara de Combustión.

Válvula de Purga:

Tiene la función de permitir la purga de agua u otras impurezas líquidas contenidas en el combustible antes de la puesta en servicio de la turbina.

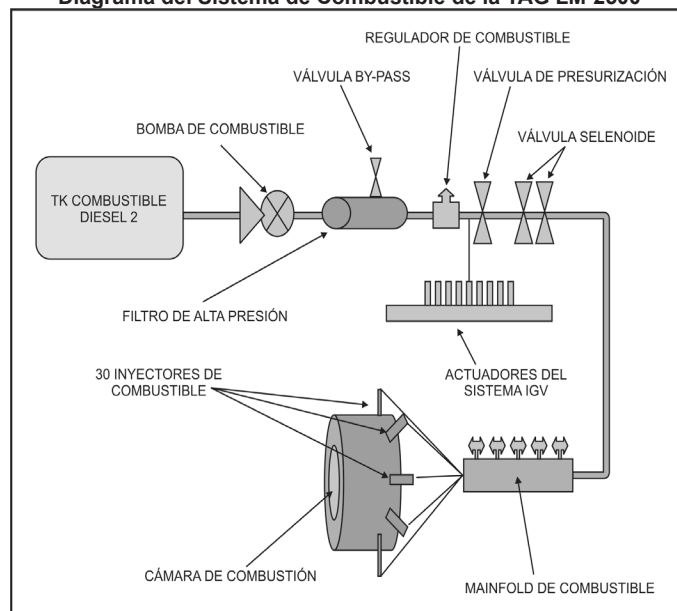
Actuadores hidráulicos:

Posicionan las paletas de ángulo variable del estator IGV del compresor, de acuerdo con lo ordenado por el regulador de combustible. Están montados en la estructura anterior del compresor (EAC) a ambos lados de la TAG. Están hidráulicamente conectados con el regulador de combustible.

Operación del Sistema:

- El sistema es alimentado de combustible por el sistema de servicio del buque, de los tanques de almacenamiento a los tanques de servicio ubicados en el contenedor de la turbina. En este punto, la bomba recibe el combustible mediante una tubería de ingreso que está en la base del contenedor; la bomba presuriza y descarga el combustible hacia el filtro de alta presión de donde es dirigido al regulador.
- Del regulador, se divide en dos líneas, una es dirigida a los actuadores de las paletas de ángulo variable para trabajar como fluido hidráulico, mientras que la otra parte pasa a través de la válvula de presurización y llega a las válvulas de interceptación.
- Estas válvulas, cuando están energizadas, están abiertas permitiendo el paso del combustible hacia el manifold para ser distribuido a los inyectores y ser pulverizado en la cámara de combustión.

Diagrama del Sistema de Combustible de la TAG LM-2500



4.4.3.3 El Sistema de Encendido

Este sistema tiene como propósito generar la energía eléctrica necesaria para el encendido inicial de la mezcla aire/combustible en la cámara de combustión.

Consta de dos circuitos gemelos, de los que sólo funciona uno a la vez, mientras que el otro permanece en reserva y es utilizado solo en caso de que el primero falle.

Componentes del Sistema:

Estos circuitos constan de lo siguiente:

- Dos elevadores de voltaje
- Dos cables conductores coaxiales
- Dos bujías eléctricas de encendido

Elevadores de voltaje:

Son bobinas que elevan el voltaje y transforman en corriente directa la corriente alterna que reciben.

Ingresas: 115 voltios a 60 Hz. CA Salidas de: 15,000 a 20,000 voltios de CC.

Están montados al lado derecho de la estructura anterior del compresor (EAC).

Cables conductores coaxiales:

Su función es conducir la corriente de alto voltaje, desde los elevadores hasta las bujías de encendido. Se encuentran en el área externa del lado derecho del compresor.

Bujías de encendido:

Su función es generar la chispa eléctrica que inicie la combustión. Están montadas en la Estructura Posterior del Compresor (EPC) y penetran hacia el interior de la cámara de combustión.

Poseen pasajes internos para el flujo de aire de refrigeración, lo que evita la formación de residuos de carbón en las puntas de las mismas.

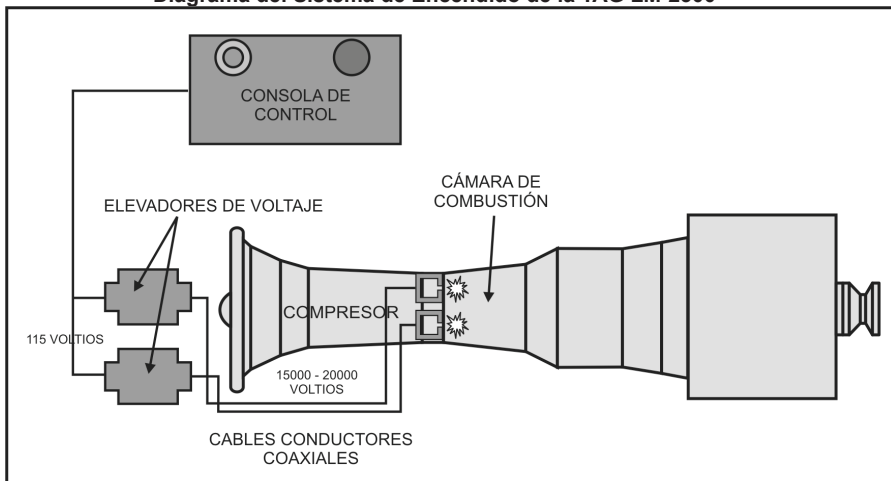
Operación del Sistema

El Sistema de Encendido es energizado por el operador desde la consola de control durante el proceso de lanzamiento de la turbina; cuando el generador de gases (GG) está siendo arrastrado por el arrancador y alcanza una velocidad de 1,200 RPM, se activa automáticamente.

Una vez que ha sido activado, uno de los elevadores de voltaje recibe 115 voltios y lo transforma en 15000 - 20000 voltios CC, y lo descarga luego hacia las bujías a través del cable coaxial; finalmente, la bujía genera la chispa eléctrica para generar la combustión.

Cuando el proceso de combustión ha sido iniciado, el sistema de encendido es desenergizado.

Diagrama del Sistema de Encendido de la TAG LM-2500



4.4.3.4 El Sistema de Aire

Como hemos explicado, una de las funciones principales de una turbina a gas es comprimir aire que luego es mezclado con el combustible para generar gases calientes; pero, en las turbinas reales, este aire comprimido en el compresor es utilizado para diferentes funciones. Para efectos de estudio, las hemos dividido en dos grupos:

Flujo de Aire Primario:

Es la masa de aire empleada en la combustión, aproximadamente el 25% de la masa total de aire. Sirve, además, para centrar y estabilizar la flama dentro de la cámara de combustión. El 75% de aire restante ingresa al interior de la cámara de combustión a través de los orificios del tubo de flama y sirve para lo siguiente:

- Centrar la flama.
- Enfriar las paredes internas de la cámara de combustión.
- Producir un ligero enfriamiento de los gases antes de pasar a la Turbina de Alta Presión (TAP).

Flujo de Aire Secundario:

Compuesto por cuatro diferentes circuitos, este aire es utilizado para diferentes funciones durante la operación de la turbina pero no intervienen en el proceso de combustión. Este aire es extraído de:

- La 8ava Etapa del compresor
- La 9na Etapa del compresor
- La 13ra Etapa del compresor
- La 16ta Etapa o Descarga del compresor

Circuito de aire de la 8ava etapa

Funciones:

- Presuriza y enfría los “sumideros” A, B, C y D.
- Enfría el eje de acoplamiento flexible.
- Presuriza dos sellos de aceite en el separador de aceite/aire.

Recorrido:

El aire es extraído a través de un colector de aire instalado sobre el estator del compresor; de ahí, salen dos tuberías que dirigen el flujo de aire hacia la EAC parte delantera y a la EPT parte posterior.

Circuito de aire de la 9na etapa**Funciones:**

- Enfría la envuelta interna de la estructura intermedia de la turbina (EIT).
- Cruza el sumidero "C" colaborando con la refrigeración.
- Presuriza la cámara de balanceamiento del cojinete Nro. 7.

Recorrido:

El aire es extraído a través de un colector de aire instalado sobre el estator del compresor; de ahí, sale una tubería que se divide en dos ramales, que dirigen el flujo de aire hacia la EIT, donde ingresa por todos los rayos para refrigerarlos.

Circuito de aire de la 13ra etapa**Funciones:**

- Enfría el distribuidor de las paletas fijas de la 2da etapa de la turbina de alta presión (TAP).
- Enfría el sello de la TAP.
- Enfría el lado posterior de las raíces de las paletas móviles de la 1ra etapa de la TAP y el lado anterior de las raíces de la 2da etapa de la TAP.

Recorrido:

El aire es extraído a través de un colector de aire instalado sobre la cubierta del compresor; de ese punto, sale una tubería que dirige el flujo de aire hacia la EPC, donde ingresa por cuatro lugares localizados en la envuelta de la estructura.

Luego pasa por el distribuidor de la 2da etapa; aquí, parte del flujo sale por los orificios de las paletas y se junta con el flujo de aire caliente. La otra parte se dirige al sello inter-tapa de la TAP y a la zona trasera de las raíces de la 1ra etapa de paletas móviles y zona delantera de las raíces de la 2da etapa de paletas móviles.

Circuito de aire de a 16ta etapa**Funciones:**

- Refrigerera las paletas móviles de la 1ra y 2da etapa de la TAP.
- Refrigerera el distribuidor de paletas fijas de la 1ra. etapa de la TAP.
- Provee aire presurizado para el sistema anti-hielo.
- Presuriza la cámara de balanceamiento del cojinete en el sumidero B de la turbina.
- Refrigerera las paredes interiores de la EIT.

4.4.3.5 El Sistema de Arranque

La función de este sistema es hacer girar el eje del generador de gases (GG), acelerándolo hasta que alcance su velocidad de auto-sustentación, durante el proceso de arranque de la turbina.

Es un arrancador del tipo turbina neumática; utiliza aire comprimido a alta presión como fluido motriz.

Componentes del Sistema:

Componentes básicos, ubicados en el interior del contenedor:

La Válvula de Regulación de Aire de Arranque:

Controla y regula el flujo de aire que se dirige al arrancador neumático. Está instalada sobre la base del contenedor a la altura de la estructura anterior del compresor (EAC).

Cumple dos funciones importantes de manera que el flujo de aire que se dirige al arrancador sea uniforme y a presión constante:

- Cortar y permitir el paso de aire
- Regular el flujo de aire

Es accionada eléctricamente desde la consola de control durante el proceso de lanzamiento.

El Arrancador Neumático o Turbina de Arranque:

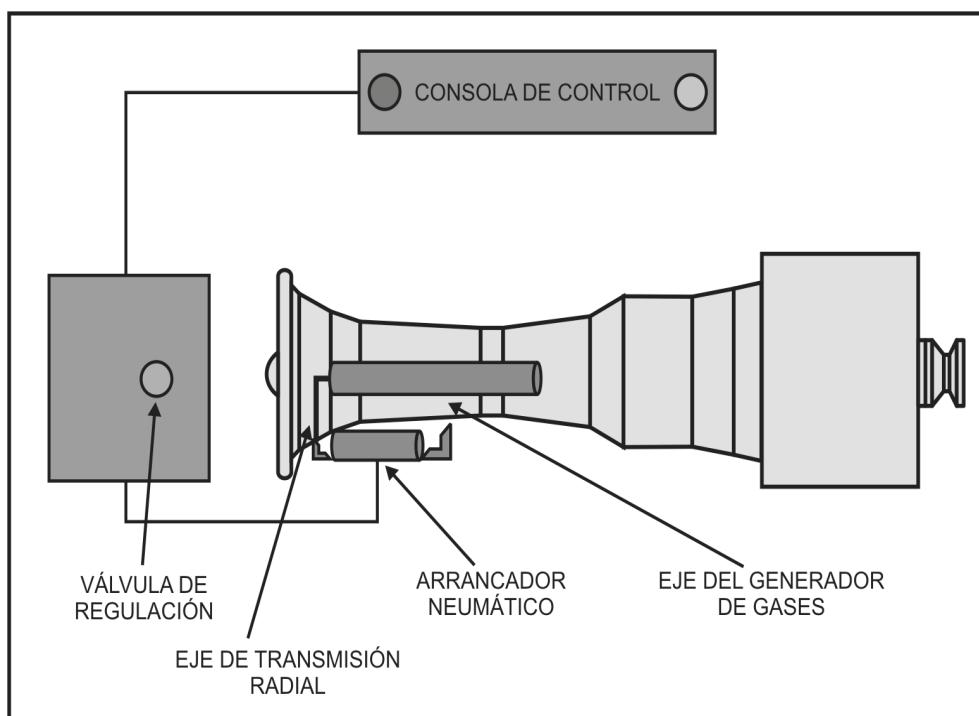
Hace rotar el GG a la velocidad adecuada para el arranque de la TAG. Está montado en la parte central de la caja de engranajes de transmisión

externa. Tiene conexión mecánica a través de un eje con la caja de engranajes externa e imparte al Generador de Gases (GG) movimiento por medio del eje de transmisión radial y la caja de engranajes interna (CEI).

Consta de las siguientes partes:

- Conjunto de admisión
- Conjunto turbina
- Tren de engranajes de reducción
- Embrague
- Eje de salida
- Micro-switch

Diagrama del Sistema de Arranque de la TAG LM-2500



Operación del Sistema

El sistema sirve para poner en funcionamiento la turbina y también para virarla como parte de las actividades de mantenimiento.

El control del proceso de lanzamiento es efectuado desde las consolas de control de la planta de propulsión; la señal eléctrica que proviene de la consola de control energiza la válvula de regulación de aire de lanzamiento; se abre y permite que el aire a presión sea dirigido al arrancador con un flujo uniforme y a presión constante.

El aire ingresa al arrancador causando la rotación de la turbina del arrancador a alta velocidad. El eje de salida del arrancador que está mecánicamente acoplado con la caja de engranajes externa al ser accionado arrastra el mecanismo de transmisión y hace girar al GG.

La presión de aire de lanzamiento que es empleada para el arranque es de 2.8 kg/cm² y hace que el GG acelere a una velocidad de 4,500 RPM aproximadamente. Una vez que el GG alcanza su velocidad de auto-sustentación, el arrancador será desconectado por dos medios. Uno de estos es la acción del micro-switch y el otro es por la acción de los controles electrónicos de la consola.

4.5 Ventajas y Desventajas de las Plantas de Propulsión con Turbinas a Gas

Como se expuso inicialmente, la mayor parte de las flotas navales del mundo cuenta actualmente con turbinas a gas como sistemas de propulsión, ya que, comparadas con las turbinas de vapor y con los sistemas de propulsión a base de motores alternativos diésel, estas turbinas ofrecen la mayor potencia para un tamaño y peso determinados, así como una alta confiabilidad, larga vida y operación más conveniente.

Otro de los factores que acentúa las ventajas y reduce las desventajas de estas turbinas es que, en muchos sistemas de propulsión marina modernos, es posible utilizar turbinas de gas junto a motores diésel u otro tipo de máquinas en plantas combinadas.

A continuación, listaremos una serie de ventajas y desventajas que se consideran para este tipo de propulsión.

Ventajas:**Operacionales**

- Tienen una mejor relación Peso/Potencia que las plantas de propulsión a vapor.
- Proporcionan mayor velocidad y tiempos de maniobra más cortos para buques grandes, en comparación con los equipados con turbinas a vapor o con motores alternativos diésel.
- El tiempo de arranque de la planta es bastante reducido, de las 4 a 12 horas requeridas por un sistema de propulsión a vapor o diésel a menos de 2 minutos para poner en servicio una turbina de gas.

Técnicas

- Simplicidad en su diseño.
- Se pueden diseñar plantas combinadas: COSAG, COGOG, CODOG, CODLAG o CODAG WARP.
- Economía en su mantenimiento, debido a la mayor cantidad de horas entre inspecciones y recorridos mayores.
- Menor consumo de aceite lubricante y pocos problemas de equilibrado debido a la ausencia de elementos alternativos y friccionantes, mejorando la confiabilidad durante su operación.
- Capacidad de ser removida del buque para su reparación en un período de tiempo muy corto, aproximadamente 72 horas, ya que su diseño modular y un sistema de carriles de fácil instalación permite su desmontaje y traslado a talleres.

Desventajas:

- Alto consumo específico de combustible a cargas parciales (debido a que la potencia requerida es proporcional al cubo de la velocidad)
- Alto consumo específico de combustible en general, comparado con una planta a vapor o motores diésel.
- Requiere de mano de obra altamente especializada, e instrumentos y herramientas de alta tecnología para su mantenimiento.

CAPÍTULO 5

PLANTAS DE PROPULSIÓN CON MOTORES DIÉSEL

5.1 Motores Alternativos de Combustión Interna

Los motores alternativos de combustión interna fueron desarrollados en Europa a fines del siglo XIX por los científicos alemanes Nicholas Otto, el motor de encendido por chispa, y Rudolf Diésel, el de encendido por compresión; aunque ambos motores tienen componentes y características similares, funcionan bajo ciclos termodinámicos diferentes, los cuales serán explicados más adelante.

En estos motores, se obtiene trabajo mecánico, transformando la energía química del combustible en energía mecánica o trabajo útil. La combustión se realiza en el interior de un cilindro, el cual cierra su parte inferior mediante un pistón o émbolo que, a su vez, es desplazado cada vez que ocurre la explosión; es decir, el fluido operante formado por los gases de la combustión crea un movimiento rectilíneo alternativo que luego es transformado en movimiento rotacional en el eje por medio de un elemento denominado cigueñal.

Los motores alternativos de combustión interna fueron introducidos progresivamente a bordo de las unidades navales; inicialmente, cumplían funciones auxiliares dando movimiento a bombas y generadores eléctricos, mientras que las turbinas a vapor se encargaban de los sistemas de propulsión. Actualmente, el motor de encendido por compresión ciclo Diésel está presente en una variedad de sistemas de propulsión a bordo, desde buques auxiliares hasta Corbetas, Fragatas y Destruyores, tanto como sistemas únicos o en plantas de propulsión combinadas.

En nuestra escuadra, estos motores forman parte de los sistemas de propulsión de buques auxiliares y petroleros, en los cuales se emplean motores ciclo Diésel de dos tiempos de baja velocidad, en las fragatas clase "Carvajal" junto con sistemas de turbinas a gas en plantas combinadas CODOG y en Corbetas tipo "Velarde" y patrulleras, como sistemas únicos de propulsión con motores ciclo Diésel sobrealimentados de cuatro tiempos y velocidad media.

Adicionalmente, estos motores tienen aplicación en sistemas de generación eléctrica, en vehículos de transporte de tierra y embarcaciones menores.

El presente capítulo tiene por finalidad explicar la diferencia entre los motores ciclo Diésel y Otto; su aplicación en propulsión naval, planteando sus principios de funcionamiento. Así mismo, se efectuará una explicación y descripción de los principales componentes y sistemas de los motores ciclo Diésel como parte de las plantas de propulsión, actualmente en servicio en diferentes tipos de configuraciones a bordo de los buques de la escuadra.

Funcionamiento:

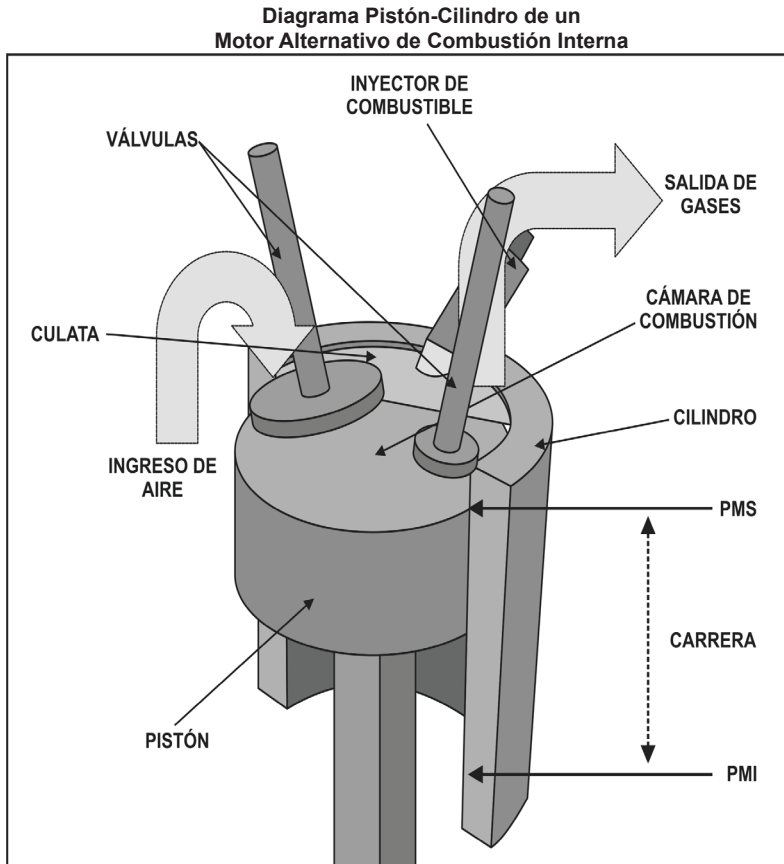
Como explicamos anteriormente, estos motores funcionan bajo dos ciclos termodinámicos diferentes; así, tenemos Motores Ciclo Otto de Encendido por Chispa (MECH) y Motores Ciclo Diésel de Encendido por Compresión (MEC).

Estos motores tienen, además, componentes correspondientes. En forma general, constan básicamente de un “Cilindro”, que es un contenedor de forma cilíndrica en el que se mueve un pistón, con movimiento rectilíneo alternativo, el cual es parte del bloque de cilindros o también denominado monoblock, que constituye la estructura fundamental del motor.

El pistón transmite este movimiento rectilíneo mediante un elemento de transmisión, denominado biela a un eje o manivela conocido como “Árbol Cigüeñal” o “Eje Cigüeñal” que descansa sobre una pieza estructural denominada bancada y que se encarga de convertir el movimiento alternativo de los pistones en rotacional.

La parte superior del Cilindro está cerrada por una pieza denominada culata, en la cual se encuentran las válvulas que permiten el ingreso de aire y la salida de gases y un inyector de combustible o una bujía según sea el caso.

El volumen comprendido en el cilindro entre la culata y el pistón cuando este se encuentra en su posición más próxima a la culata: Punto Muerto Superior (PMS) representa la cámara de combustión, y el recorrido del pistón a lo largo del cilindro entre su posición más alejada: Punto Muerto Inferior (PMI) y la más cercana a la culata PMS se denomina “Carrera del Pistón”, tal como se indica en la figura siguiente:



5.1.1 Ciclos Termodinámicos: Otto y Diésel

Como se explicó anteriormente, ambos tipos de motores alternativos tienen características constructivas similares, pero se diferencian en cuanto al ciclo termodinámico empleado, específicamente por la forma de iniciar la combustión, es decir, cómo se realiza el encendido del combustible.

Para entender mejor esto, a continuación explicaremos los ciclos termodinámicos de cada uno de estos motores.

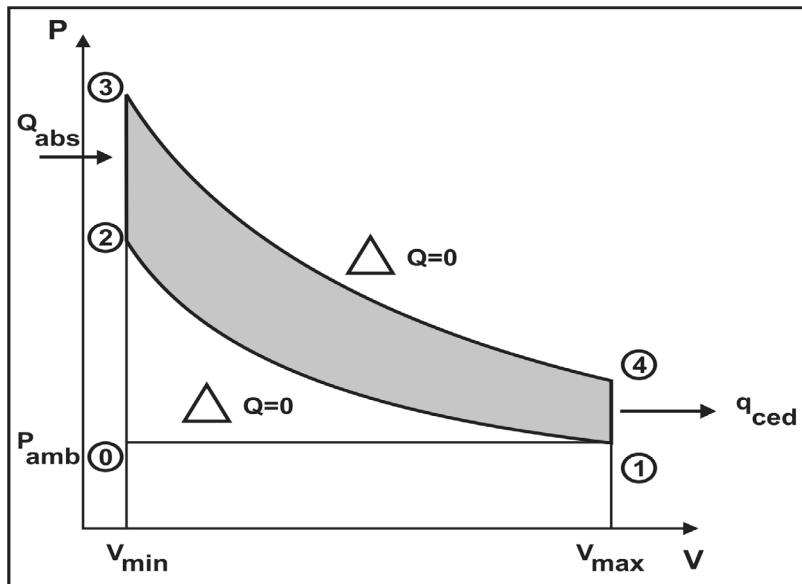
Ciclo Otto. Descripción del Ciclo:

Este ciclo termodinámico regula el funcionamiento de los motores encendidos por chispa (MECH) también conocidos como motores de gasolina, ya que se caracterizan por aspirar una mezcla aire-combustible, conformada por hidrocarburos ligeros (gasolinas de elevado poder calorífico que se evaporan

fácilmente) dispersa en un volumen de aire.

En el diagrama siguiente, vemos el ciclo teórico de un motor Otto en un diagrama Presión-Volumen (P-V).

Diagrama P-V de un Ciclo Otto Teórico



De acuerdo con el diagrama, el ciclo Otto para un motor de cuatro tiempos comprende las siguientes evoluciones:

Admisión 0-1

El pistón se desplaza desde el PMS (punto muerto superior) al PMI (punto muerto inferior); la válvula de admisión se encuentra abierta para permitir ingreso de aire y combustible. El pistón realiza una carrera completa y el cilindro se llena con la mezcla aire/combustible. Al final de la admisión con el pistón en el PMI, se cierra la válvula de admisión. El llenado del cilindro requiere un trabajo negativo.

Compresión 1-2

Con la válvula de admisión y la válvula de escape, cerradas, el pistón se desplaza desde el PMI al PMS realizando una carrera completa para comprimir la mezcla aire/combustible. En principio, esta compresión es adiabática. La compresión también requiere trabajo negativo.

Combustión 2-3

Corresponde al calor absorbido ($Q_{abs.}$) por el sistema y es el instante cuando el pistón llega al PMS; se enciende la chispa en la bujía y se quema la mezcla en la cámara de combustión, aumentando la presión del punto 2 al punto 3. Este proceso se realiza a volumen constante y es clave en el comportamiento del ciclo real.

Trabajo 3-4

Con las dos válvulas cerradas, el pistón se desplaza desde el PMS al PMI, realizando una carrera completa. En principio, esta carrera es adiabática y es la única en todo el ciclo que genera trabajo positivo.

Apertura de la Válvula de Escape 4-1

Es instantánea y ocurre cuando se abre la válvula de escape y la presión desciende rápidamente. Corresponde al calor cedido o entregado por el sistema ($q_{ced.}$).

Escape 1-0

El pistón se desplaza desde el PMI al PMS realizando una carrera completa para desalojar los gases de escape contenidos en el cilindro. La válvula de escape se encuentra abierta y la válvula de admisión cerrada.

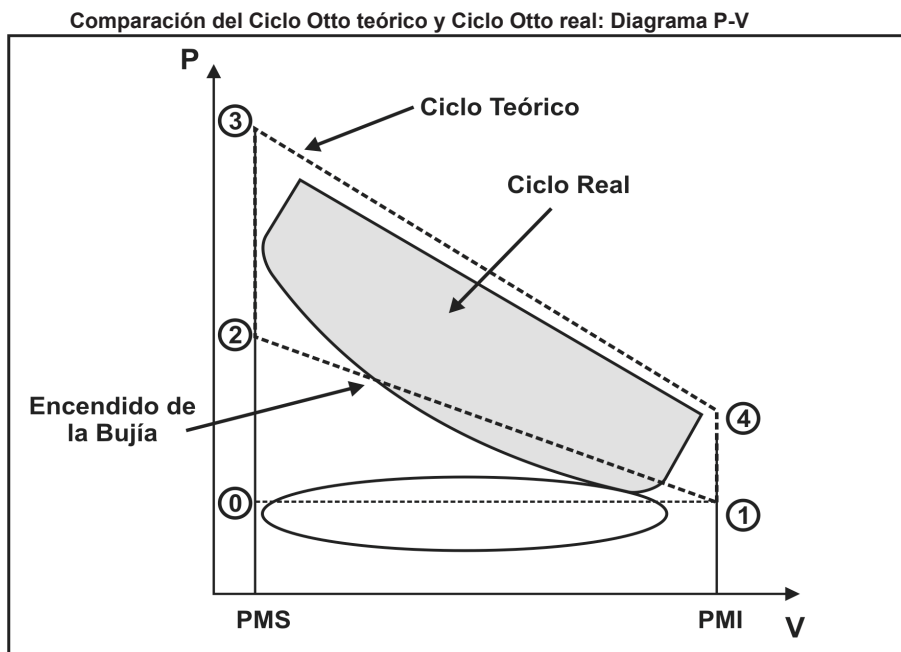
Cada carrera corresponde a media vuelta del cigüeñal; por lo tanto, para realizar el ciclo completo se requieren dos revoluciones si es un motor de cuatro tiempos y una revolución si se trata de uno de dos tiempos.

Ciclo Otto Real y Teórico:

El ciclo real refleja las condiciones efectivas de funcionamiento de un motor y se identifica en el caso de estos motores alternativos con el diagrama de presiones medias del cilindro denominado "Diagrama Indicado", en el cual se representan los cambios continuos que experimentan la masa de aire y los productos de la combustión.

Entre el Ciclo Real y el Ciclo Teórico correspondiente existen diferencias sustanciales tanto en la forma del diagrama como en los grados de temperatura y presiones. La diferencia de forma consiste en un perfil distinto en los tiempos de Expansión y Compresión del ciclo, en la sustitución de las etapas rectilíneas de suministro y sustracción del calor y en la atenuación de los ángulos agudos.

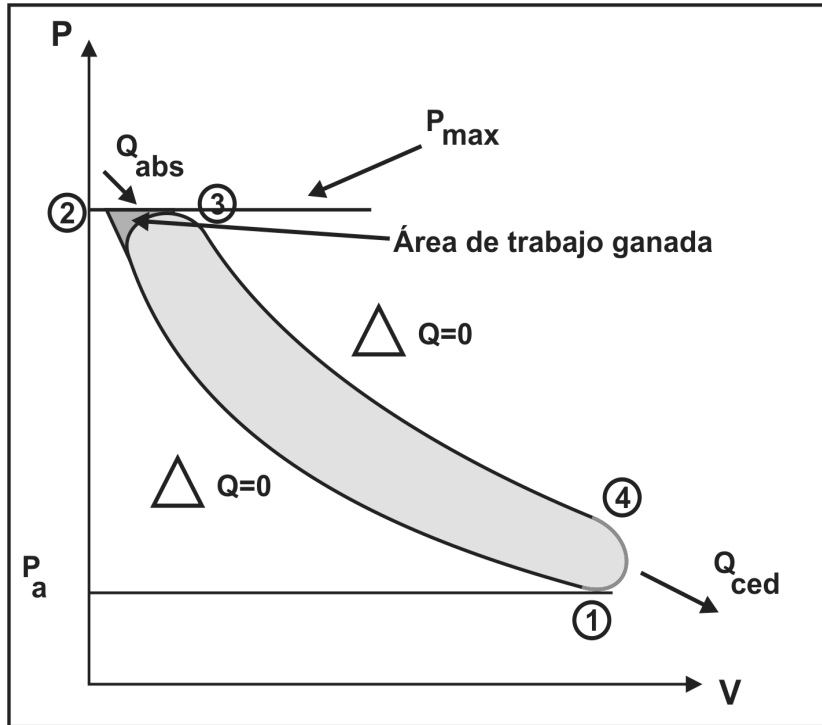
Las causas de estas diferencias se deben principalmente a la fricción, a las pérdidas de calor, a la combustión no instantánea y al momento de apertura de la válvula de escape.



Ciclo Diésel. Descripción del Ciclo:

En la figura, vemos el ciclo teórico de un motor diésel en un diagrama de Presión y Volumen P-V.

Diagrama P-V de un Ciclo Diésel Teórico



La descripción del ciclo para un motor diésel de cuatro tiempos comprende las siguientes evoluciones:

Admisión: 0-1

El pistón se desplaza desde el PMS al PMI con la válvula de admisión, abierta, mientras que el cilindro se va llenando con aire. Al final de la admisión, es decir, cuando el pistón se encuentra en el PMI, se cierra la válvula de admisión. Esta carrera requiere trabajo negativo.

Compresión: 1-2

Con las válvulas de admisión y escape, cerradas, el pistón se desplaza desde el PMI al PMS, elevando la presión del aire de 1 a 2. Esta carrera de compresión requiere también de trabajo negativo.

Combustión: 2-3

Corresponde al calor absorbido por el sistema ($Q_{abs.}$); es el instante cuando el pistón llega al PMS y se inyecta el combustible diésel pulverizado, y se produce el encendido en la cámara de combustión a presión constante.

Trabajo: 3-4

Con las dos válvulas cerradas, el pistón se desplaza desde el PMS al PMI impulsado por la presión de los gases, realizando una carrera completa. Esta evolución genera el trabajo positivo del ciclo.

Apertura de la Válvula de Escape: 4-1

Corresponde al calor entregado o cedido por el sistema ($Q_{ced.}$); es el instante cuando se abre la válvula de escape en el momento que el pistón se encuentra en el PMI.

Escape: 1-0

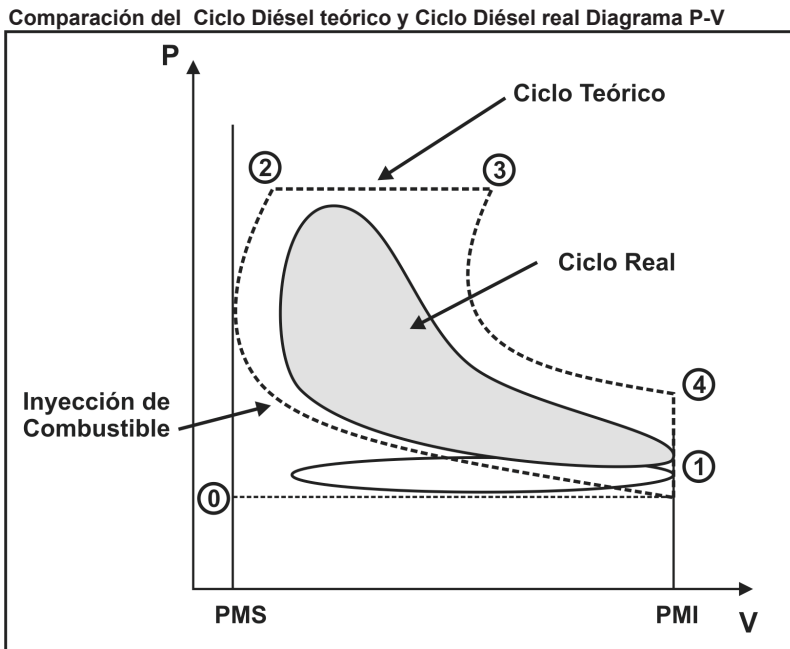
El pistón se desplaza desde el PMI al PMS realizando una carrera completa para desalojar los gases de escape contenidos en el cilindro. La válvula de escape se encuentra abierta y la válvula de admisión cerrada.

Al igual que en el ciclo anterior, cada carrera completa corresponde a media vuelta del cigüeñal. Por lo tanto, para realizar el ciclo completo se requieren dos revoluciones para un motor de cuatro tiempos y una para el motor de dos tiempos.

Ciclo Diésel Real y Teórico

Al igual que en el caso anterior, existen diferencias en la forma del diagrama de Presión–Volumen y en los valores de presiones y temperaturas que son similares y corresponden a las analizadas en el caso del ciclo Otto. Estas son las debidas a la variación de los calores específicos, a la pérdida de calor, al tiempo de apertura de la válvula de escape y a las pérdidas por fricción.

Además, existe, en este caso, una causa particular relacionada con la combustión, ya que, en los ciclos reales diésel, la combustión no se realiza plenamente a presión constante; la presión varía durante el proceso de combustión, mientras que, en el ciclo teórico, suponíamos que la presión se mantenía constante. En realidad, una parte de la combustión se lleva a cabo a volumen constante y otra, a presión constante, casi como en el caso del ciclo Otto real. Tan solo en el caso de los motores diésel muy lentos, se desarrolla de forma aproximada al ciclo teórico.



5.1.2 Características de los Motores Ciclo Otto y Ciclo Diésel

Ambos tipos de motores están conformados por una o más unidades de cilindro y pistón de acuerdo con su diseño. Cada pistón cuenta con unos anillos de compresión que impiden el escape de gases entre el pistón y el cilindro. Los cilindros, generalmente, cuentan con unas fundas que son denominadas "Camisetas", cuya función es evitar el desgaste del monoblock.

El empuje de los gases sobre el pistón se transmite a través de la biela, al eje cigüeñal o "Árbol Cigüeñal". La biela y el cigüeñal transforman el movimiento lineal alternativo en movimiento rotativo.

Los conductos que facilitan el ingreso del aire al motor son el colector de admisión y la válvula de admisión, y los conductos que descargan al exterior los gases,

producto de la combustión, son la válvula de escape y el colector de escape. La válvula de admisión y la válvula de escape están accionadas por unos elementos llamados balancines que, a su vez, son accionados por un eje de distribución o “eje de levas” o bulones que sincroniza su apertura y cierre. Este eje de distribución o eje de levas es accionado por el eje cigüeñal, mediante una cadena, faja de distribución o un tren de engranajes que le transmiten el movimiento sincronizado.

En cuanto al Sistema de Inyección de Combustible y al mecanismo de combustión, ambos tipos de motores tienen características particulares.

Motor a Gasolina o Motor de Encendido por Chispa (MECH):

En este motor, la mezcla entre el aire y el combustible se forma en un componente denominado carburador e ingresa en el cilindro a través del conducto de admisión y la válvula de aspiración también conocida como “Válvula Mariposa”, que es la que regula la cantidad de mezcla entrante.

Esta mezcla es comprimida por el pistón dentro del cilindro y luego se produce la combustión a volumen constante al saltar una chispa entre los electrodos de la bujía de encendido, la cual se realiza controlada en el tiempo de acuerdo con una secuencia determinada.

Motor Diésel o Motor Encendido por Compresión (MEC):

En el caso de estos motores, el encendido del combustible se da por efecto de las condiciones de la compresión del aire, al cual le es inyectado combustible pulverizado, por lo que no es necesario bujías para iniciar la combustión ni carburadores para efectuar la mezcla, pero sí un Sistema de Inyección de Combustible adecuado. Para que el combustible entre en el cilindro en el cual existe aire fuertemente comprimido y caliente, es necesario que este se envíe a muy elevada presión, por medio de un elemento denominado Inyector de Combustible. La cantidad de combustible que ingresa está regulada por una Bomba de Inyección; así, este sistema ingresa un pequeño chorro para cada carrera de combustión.

En resumen, estos motores requieren un Sistema de Inyección, compuesto por una bomba que dosifica, da presión y envía el diésel a los cilindros. Adicionalmente en cada cilindro, es necesario un inyector que ingresa el combustible a la cámara de combustión uniformemente pulverizado.

El aire ingresa por un conducto de admisión y la válvula de aspiración no tiene ninguna regulación. La temperatura del aire aspirado, al final del periodo de compresión, está por encima de la temperatura de ignición del combustible, de manera tal que este se inflama inmediatamente después de la inyección por sí mismo sin necesidad de una bujía. A esto se denomina “Autoencendido”.

La combustión se produce a presión aproximadamente constante, como hemos visto en el análisis de los ciclos reales. El aumento de presión por la adición de calor es relativamente compensado por la expansión de los gases (descenso del pistón) de la combustión que se produce paralelamente a esta adición.

Comparación entre Motores: Diésel (MEC) y Gasolina (MECH)

Como hemos explicado, ambos tipos de motores alternativos, aunque tienen semejanzas estructurales, tienen ciclos termodinámicos diferentes y emplean combustibles de características contrapuestas, ya que la gasolina utilizada en los MECH debe encenderse con una chispa, pero no debe hacerlo cuando se comprime; su característica principal es un alto "Número de Octano"; a su vez, el combustible diésel (gasoil) utilizado en los MEC que es un derivado del petróleo bruto debe encenderse por compresión teniendo como característica el "Número de Cetano". Por este efecto, el motor a gasolina es un motor de explosión; en cambio, el motor diésel es un motor de autoencendido cuyo combustible no se enciende súbitamente, como la gasolina, sino de manera progresiva.

Por otra parte, existe una diferencia en el precio de estos combustibles que determina que el costo de operación de un MECH por unidad de potencia generada sea mayor que el de un MEC, y aunque el precio de ambos combustibles sea igual, los motores diésel seguirán siendo más económicos, porque su rendimiento es mayor, ya que, en los motores a gasolina, se logra utilizar tan solo un 25 % de la energía contenida en el combustible, mientras que en los motores diésel se llega a valores del 35 %. Esto se debe, principalmente, a que el aire aspirado por un MEC puede ser siempre el máximo, ya que el combustible diésel entrega su energía aunque se combustione en exceso de aire, lo que se denomina "mezcla pobre", sin los inconvenientes de los MECH, donde la relación gasolina-aire siempre es exactamente dosificada por el carburador.

Estos aspectos, sumados a la facilidad y seguridad de almacenamiento del combustible diésel en comparación con la gasolina más volátil, han determinado que actualmente en las plantas de propulsión naval se empleen motores diésel; con ello, quedan los motores a gasolina destinados a usos auxiliares muy limitados, como el caso de motores fuera de borda para embarcaciones menores.

En resumen, los MECH y los MEC se diferencian en los siguientes aspectos:

- a. Un motor a gasolina succiona una mezcla de gas y aire, los comprime y enciende la mezcla con una chispa. Un motor diésel sólo succiona aire, lo comprime y, entonces, le inyecta combustible. El calor del aire comprimido enciende el combustible espontáneamente.

- b. Un motor diésel utiliza mucha más compresión que un motor a gasolina. Un motor a gasolina tiene una relación de compresión de 8:1 a 12:1, mientras que un motor diésel comprime de 14:1 hasta 25:1. La alta compresión se traduce en mejor eficiencia.
- c. Los motores diésel utilizan inyección de combustible directa; es decir, el combustible diésel es inyectado directamente al cilindro. Los motores a gasolina, generalmente, utilizan carburación; el aire y el combustible son mezclados antes de que entren al cilindro en un carburador.
- d. El MECH utiliza combustibles ligeros muy volátiles y de difícil almacenamiento en buques de guerra. Los MEC emplean combustible menos volátiles y, por lo tanto, de manipuleo y almacenamiento más seguro en buques de guerra

La Compresión

Hay dos razones para comprimir la carga de aire:

- Elevar la eficiencia térmica del motor aumentando la temperatura de combustión. (Aplicable a todos los motores de combustión interna)
- Aumentar la temperatura de la carga de aire en tal alto grado de que, cuando el combustible pulverizado es inyectado dentro del aire caliente, se inflame y empiece a quemar sin ninguna otra fuente exterior de ignición. (Aplicable solo a motores diésel).

La Combustión

Hay dos medios diferentes de quemar combustible en el cilindro del motor:

La Combustión: a Volumen Constante:

- Significa que, durante la combustión, el volumen no cambia y que toda la energía calorífica desarrollada por el combustible incrementa la temperatura y la presión del gas.
- En el caso de un motor a pistón, la combustión a volumen constante ocurre de manera tan espontánea que se considera que el pistón no se ha movido de su sitio.

- Tiene como ventaja una alta eficiencia térmica. La desventaja es un aumento de presión repentino, lo que da como resultado que el motor funcione con ruido.

La Combustión: a Presión Constante:

- Durante la combustión, la temperatura aumenta de tal forma que el incremento resultante en presión es contrarrestado por el aumento de volumen y la presión no cambia. (este tipo de combustión se da en las TAG y aproximadamente en Motores Diésel).

Comparación entre Motores: de dos y cuatro tiempos

Es posible, con algunas modificaciones de diseño, lograr que un motor a gasolina o un motor diésel funcionen con solo dos tiempos o recorridos del pistón y básicamente su mismo ciclo termodinámico.

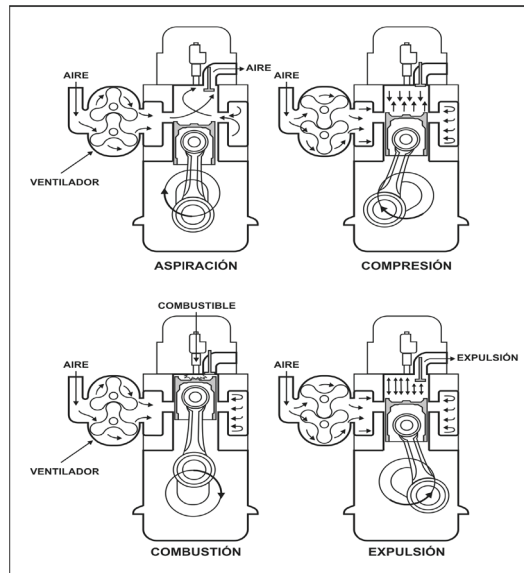
La ventaja del funcionamiento de un motor de dos tiempos sobre uno de cuatro es la eliminación de una carrera de expulsión y otra de admisión, de modo que el cilindro entrega una carrera de trabajo por cada revolución del motor, mientras que en el motor de cuatro tiempos solo hay un carrera de trabajo por cada dos revoluciones del motor.

El concepto de un motor de dos tiempos es la reducción en la duración de los tiempos de admisión de aire-combustible y expulsión de gases, a una parte mínima de uno de los tiempos, en lugar de que cada operación requiera un tiempo completo.

El diseño general de estos motores consiste en reemplazar las válvulas instaladas en la culata por orificios del tipo "lumbrera", los cuales se abren o cierran con el movimiento del pistón. El aire entra al cilindro a través del orificio de aspiración cuando el pistón está en el PMI; la primera carrera del pistón es la de compresión. Cuando el pistón llega al PMS, se enciende la mezcla y se produce la combustión; a continuación, el pistón se desplaza hacia abajo generando la carrera de potencia y descubriendo el orificio de expulsión, lo que permite la salida de los gases. Los motores diésel de este tipo requieren para facilitar la salida de los gases de las denominadas "Bombas de Barrido" que son bombas de aire del tipo "sopladores".

La eficiencia de este tipo de motores es menor que la de uno de cuatro tiempos, pero teóricamente si el diámetro del cilindro, la carrera del pistón, la velocidad y la compresión son iguales, un motor de dos tiempos debería desarrollar el doble de la potencia que uno de cuatro tiempos, al necesitar sólo dos tiempos para realizar un ciclo completo, produciendo más potencia que un motor de cuatro tiempos del mismo tamaño.

Ciclo Diésel de dos tiempos



5.1.3 Clasificación de los Motores Alternativos

Existen muchas formas y criterios de clasificación de los motores alternativos de combustión interna. Teniendo en cuenta las diferentes formas de aplicación de estos motores para propulsión naval, se plantea la siguiente clasificación:

Según el sistema de encendido del combustible

- Motores de encendido por chispa (MECH) de Gasolina. De uso muy limitado a embarcaciones menores en motores fuera de borda.
- Motores de encendido por compresión (MEC) Diésel. Usados ampliamente como parte de los sistemas de propulsión en diferentes tipos de buques de guerra.

Según el ciclo operativo

- Motores de cuatro (4) tiempos. Principalmente del tipo motores rápidos de encendido por compresión; son usados en destructores, fragatas, corbetas y patrulleras en diferentes configuraciones.
- Motores de dos (2) tiempos. Motores Ciclo Diésel, de baja velocidad que emplean combustibles residuales son empleados en algunos buques auxiliares, en los que se requiere economía de operación pero a velocidades moderadas.

Según la disposición de sus unidades:

- a) En línea. Configuración generalmente utilizada en grandes motores marinos Ciclo Diésel, lentos de dos tiempos.
- b) En "V". Esta configuración hace más compacto el diseño del motor, mejorando su relación Peso-Potencia. Son usados en motores Ciclo Diésel rápidos, en buques de línea.

Sub-clasificaciones: Para los motores de encendido por compresión (MEC)

Con relación al régimen y a las características de utilización:

- a) Motores lentos. Son motores, principalmente de dos tiempos, cuyas revoluciones por minuto RPM están alrededor de los cientos de revoluciones; generalmente, están conectados directamente al eje propulsor, sin necesidad de un engranaje reductor.
- b) Motores rápidos. Motores cuyas revoluciones por minuto RPM están por encima de las mil revoluciones. Son motores compactos de cuatro tiempos sobrealimentados empleados en diferentes configuraciones a bordo de buques de guerra; en todos los casos, requieren de engranajes reductores para su conexión con el eje de propulsión.

Con relación a la forma en que los gases de la combustión actúan sobre el pistón:

- a) Motores de simple efecto. Los gases actúan sobre un solo pistón en su respectivo cilindro. Casi todos los motores de propulsión naval son de este tipo.
- b) Motores de doble efecto. Los gases de la combustión actúan sobre dos pistones en un solo cilindro a la vez; por su complejidad y difícil mantenimiento, ya no son usados en propulsión naval.

5.2 Motores Diésel de Propulsión Naval

Como hemos explicado, existen razones suficientes para asegurar que los motores Ciclo Otto no tienen casi aplicación naval, salvo los motores fuera de borda de algunas embarcaciones menores, lo cual deja al motor de Ciclo Diésel de dos y cuatro tiempos como el único motor alternativo de combustión interna de uso en los sistemas de propulsión naval. Una de las razones para que este tipo de motores sea utilizado en sistemas de propulsión es su bajo consumo; del orden de los 130 g / Caballo-Vapor Hora, para motores diésel lentos de dos tiempos, lo que convierte a este motor en la alternativa de mayor uso en buques mercantes y para algunos buques de guerra auxiliares no

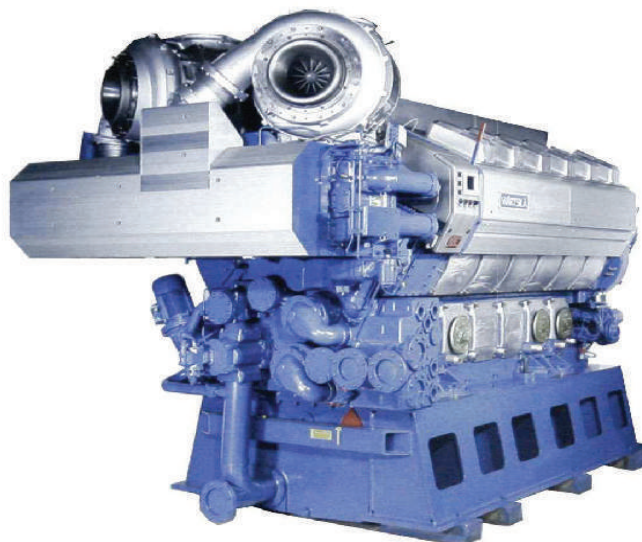
combatientes, en los cuales estos motores van acoplados directamente al eje de propulsión en función a las bajas revoluciones por minuto RPM que desarrollan, y no es necesario un engranaje reductor.

El otro tipo de motor diésel utilizado en propulsión naval está constituido por una amplia gama de motores Ciclo Diésel, rápidos de cuatro tiempos y, aunque inicialmente el movimiento alternativo de estos motores y, por lo tanto, el mayor ruido y vibraciones producidas los ponían en desventaja en comparación con las turbinas a gas y las turbinas a vapor, el menor consumo de combustible a velocidades medias y de crucero, su versatilidad y mejoras sustanciales en la implementación de soportes antivibratorios y sistemas de aislamiento de ruido (motores encapsulados) determinaron que actualmente su uso en plantas de propulsión para buques de guerra medianos y pequeños está ampliamente difundida en una diversidad de diseños de plantas incluyendo las Plantas Combinadas.

Estos Motores Diésel Navales, como los denominaremos en adelante, tienen ciertas particularidades en función al medio en el cual trabajan; así, los Sistemas de Sobrealimentación, de Arranque, Lubricación y Refrigeración principalmente deben estar adaptados al uso de agua de mar en enfriadores y bombas así como los diferentes equipos auxiliares requeridos. La explicación del funcionamiento de los diferentes sistemas asociados a este tipo de propulsión será explicada más adelante en este capítulo.

En cuanto a los componentes principales de estos Motores Navales, tienen también características particulares, por lo cual es necesaria una descripción de sus principales componentes.

Motor Ciclo Diésel de uso a bordo de Buques de Guerra



5.2.1 Componentes Principales

Las partes componentes de estos motores pueden separarse en dos grupos de acuerdo con sus funciones:

5.2.1.1 Componentes Estructurales

Estos componentes no tienen movimiento, pero sirven para guiar y mantener las partes móviles y los accesorios en su posición. Los principales son los siguientes: el monoblock, la bancada, las culatas y el cárter de aceite.

- **El Monoblock o Bloque de Cilindros:**

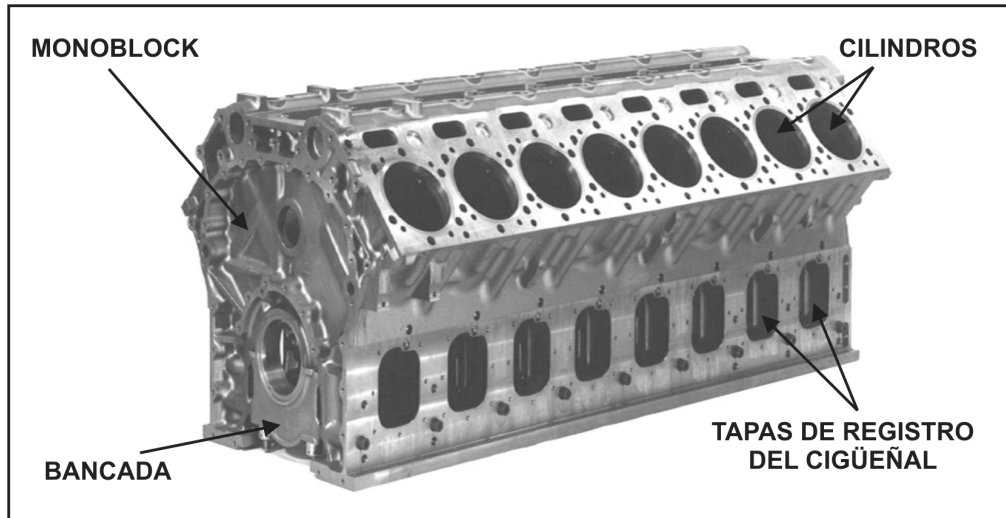
Llamado también estructura del motor, es un bloque macizo o, en algunos casos, soldado, que sirve para mantener las piezas móviles y los accesorios en su posición correcta; asimismo, da forma a los cilindros. Los cilindros son considerados el corazón del motor, ya que en su interior el combustible se quema y se desplazan los pistones que desarrollan la potencia mecánica. Los cilindros están conformados por una funda denominada "camisa" cuya función en los Motores Diésel Navales es evitar el desgaste del monoblock por efecto del continuo desplazamiento de los pistones y por la culata que los sella en su parte superior:

El interior de los cilindros da forma a la cámara de combustión del motor, que contiene las válvulas para admitir el aire y para eliminar los gases de escape y los inyectores para introducir el combustible pulverizado.

Los principales requerimientos de diseño para un monoblock de un Motor Diésel Naval son la resistencia, el poco peso y la simplicidad de diseño.

Por el interior del monoblock, están trabajados una serie de canales por los que circula el agua de refrigeración que también tiene la función de precalentar el motor frío antes de su puesta en servicio haciendo pasar el agua por unas resistencias que la va calentando de manera secuencial.

Monoblock de un Motor Diésel de 16 unidades en "V"



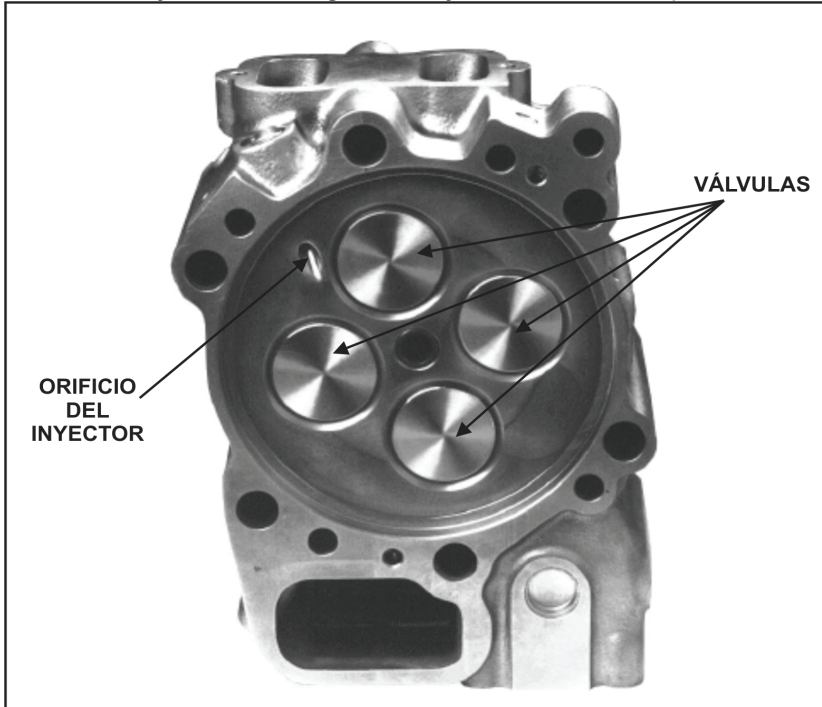
- **La Bancada:**

Es una pieza que muchas veces forma una sola con el monoblock. Su función es servir como base para soportar toda la estructura del motor; sobre esta pieza, se asienta el cigüeñal, mediante los metales o cojinetes de bancada, que reducen la fricción.

- **Las Culatas:**

Es el elemento que cierra el cilindro por la parte superior del motor, sobre el cual se asientan las válvulas de admisión de aire y escape de gases. El inyector de combustible también está asentado sobre esta pieza. En el caso de los Motores Diésel Navales, las culatas son individuales, es decir, una por cada unidad de Cilindro-Pistón. Están aseguradas al monoblock por medio de pernos de ajuste y asentadas sobre una empaquetadora especial que asegura el sellado del cilindro.

Culata individual de un Motor Diésel
(Vista desde su parte inferior, se observan las válvulas de admisión, escape
y el orificio de ingreso del inyector de combustible).



- El Cárter:

Es una pieza en forma de bandeja ubicada en la parte inferior de la bancada. Provee un recipiente para almacenar el aceite del sistema de lubricación. También es denominado “Caja del Cigüeñal”, pues una función adicional es cerrar el acceso al cigüeñal, los cojinetes, las bielas y otras partes en movimiento que requieren lubricación.

También sirve para recibir el aceite que se escape desde los cojinetes y de las partes en movimiento y reingresararlo al sistema a través de la bomba de aceite.

5.2.1.2 Componentes Móviles

Se encargan de transformar la energía calorífica del combustible en trabajo mecánico, y también transforman el movimiento alternativo en movimiento rotativo. Son los Pistones, las Válvulas, la biela, el árbol cigüeñal, el eje de levas y los inyectores de combustible.

- Los Pistones:

Tienen la función de sellar el extremo inferior del espacio de trabajo de los cilindros y transmitir hacia el cigüeñal la potencia desarrollada en el interior por efecto de la presión de los gases de la combustión. Están confeccionados de hierro fundido con aleaciones de aluminio, lo que los hace resistentes y menos pesados. Para esa función, cuentan con aros o anillos que producen un cierre hermético a los gases entre el pistón y la “camisa” de cilindro y les dan lubricación durante su movimiento. Estos van montados en unas ranuras trabajadas en el pistón; para este fin, su número varía de acuerdo con el diseño y pueden ser de dos tipos según su función.

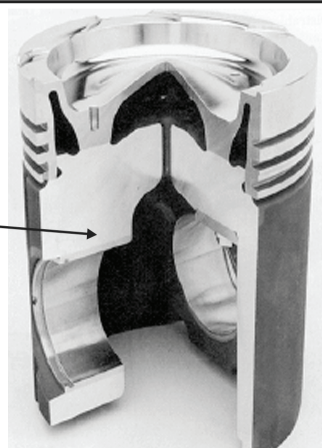
Anillos de Compresión

Tienen la función de sellar el espacio entre el pistón y la camisa del cilindro, evitando de este modo que la alta presión de los gases de la combustión o la carga de aire durante la carrera de compresión se escapen por debajo del cilindro. Además, transmiten el calor desde el pistón a la camisa del cilindro, la cual es enfriada con agua y amortiguan parte de las fluctuaciones del empuje lateral del pistón.

Anillos Aceiteros

Su propósito es barrer o raspar la mayor parte del aceite lubricante que ha sido llevado hacia arriba por el movimiento del árbol cigüeñal y la biela. Al mismo tiempo, permiten que suficiente aceite lubricante sea llevado hacia la parte superior de la camisa del cilindro, de manera que haya siempre buena lubricación para el pistón y los anillos.

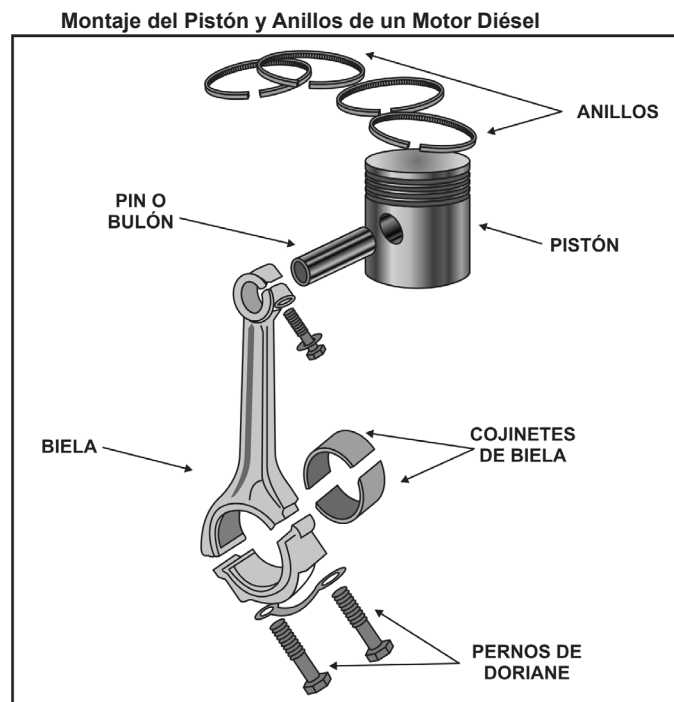
Corte seccional de un Pistón



Las partes del pistón son la corona y la falda. La corona es la parte superior que va en contacto con los gases de la combustión y debe ser la parte más resistente y sólida; en la parte lateral, van ubicados los anillos de compresión. La forma de la corona es importante para la combustión, ya que contribuye a que se produzca turbulencia en el aire y en el combustible durante la combustión que asegura una combustión más eficiente.

La falda es la parte inferior del pistón, que, mediante un pin, se une con la biela. En su parte inferior, van instalados los anillos aceiteros.

La refrigeración del pistón se facilita por el contacto de los anillos con las paredes de la "camisa", la cual es enfiada por agua y mediante el aceite que llega al pistón para lubricar el trabajo del pin de unión con la biela y el aceite que arrastran los anillos aceiteros.



- La Biela:

La biela es la pieza que tiene la función de transmitir el movimiento alternativo del pistón y convertirlo en rotacional para entregarlo al "árbol cigüeñal", el cual está en rotación continua.

El extremo superior de la biela está conectado al pistón por medio de un pasador, pin o bulón que funciona como punto de pivoteo para la transformación del movimiento alternativo en rotacional. El otro extremo o pie de biela está formado por una chumacera asegurada por pernos, la cual encierra al muñón del cigüeñal. Para reducir la fricción, cuenta con unos cojinetes de material antifricción, lubricados con aceite que circula por el interior de la biela y pasa por los canales forjados en estos cojinetes.

El brazo de biela está hecho de acero y forjado en forma de “H” para darle resistencia estructural y a la vez disminuir su peso. Interiormente tiene unos canales para el aceite lubricante y refrigerante, que une la parte superior con el pie de biela.

En los Motores Diésel Navales, existen diferentes tipos de bielas; las más comunes son para los motores de disposición de cilindros en “V” las bielas con “bieletas”, que son aquellas que transmiten el movimiento de dos pistones opuestos de manera simultánea.

Biela de un Motor Diésel



- Árbol Cigüeñal:

Es una pieza de extremadas exigencias mecánicas, trabajada en materiales especiales que aseguran su durabilidad; cuenta con conductos practicados en su interior por los cuales circula el aceite que sirve para lubricar los cojinetes de soporte.

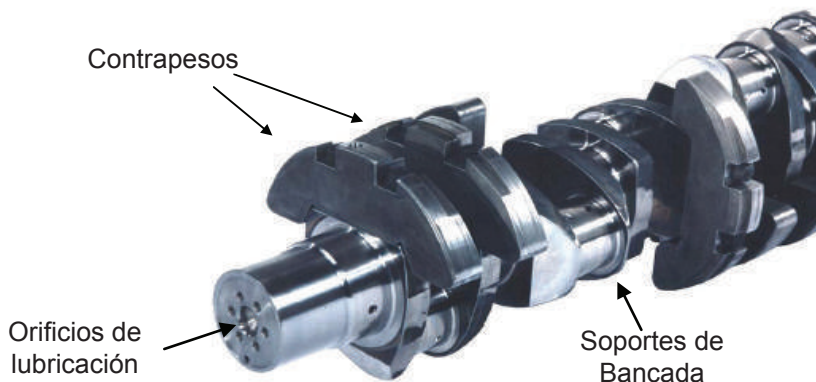
Constituye la columna vertebral del motor, ya que tiene la función de recolectar el trabajo generado por cada uno de los pistones, transmitido rotacionalmente por las bielas para ser entregado al eje

de propulsión, a los accesorios arrastrados por el motor y al sistema valvular y eje de levas.

Obtiene su movimiento rotatorio del pistón a través de la biela y el muñón. Un volante va acoplado al cigüeñal para reducir las fluctuaciones de velocidad, almacenando la energía cinética durante los periodos cuando se desarrolla la potencia y devolviéndola durante los otros periodos.

Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento alternativo generado por los pistones.

Árbol Cigüeñal de un Motor Diésel



- Las Válvulas:

En las culatas de los Motores Diésel Navales, van instaladas hasta cuatro clases de válvulas diferentes:

- De escape de gases
- De admisión de aire
- De arranque (para el ingreso del aire del sistema de arranque)
- La válvula inyectora de combustible o inyector.

El diseño de los motores puede hacer variar el número de estas. Los motores de dos tiempos no requieren válvulas de admisión y escape en la culata, pues estas acciones se realizan por medio de portales, los motores con arrancador neumático externo en la

volante, no llevan válvulas de arranque neumático. Así mismo, el número de válvulas de admisión y escape también puede variar de acuerdo con el diseño.

Las válvulas de admisión y de escape instaladas en las culatas son del tipo cónico con vástago, “achaflanadas” en los extremos donde se sientan y producen el sellaje sobre los “asientos de válvula” instalados en la culata. Estos asientos, por lo general, son piezas de material especial trabajadas aparte que encajan en un alojamiento maquinado en la culata.

La parte superior del cono de las válvulas toma la forma de un vástago; este corre por un orificio trabajado en la culata que sale al exterior del motor enfundado en unas piezas cilíndricas denominadas “guías de válvula”; por donde, el vástago de la válvula realiza el movimiento lineal de apertura y cerrado para la admisión y el escape.

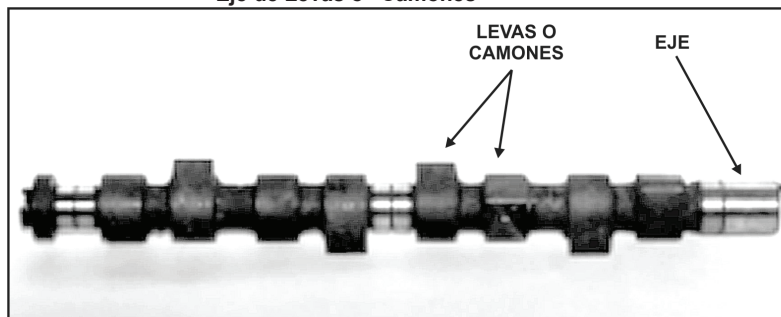
En la parte exterior y superior de la culata por donde sale el vástago de la válvula, se encuentran unos resortes, cuya función es hacer que la válvula retorne a la posición de cerrado luego de ser abiertas por la presión del balancín. Estos se denominan “resortes de válvula”.

- Mecanismo Valvular:

La fuerza necesaria para hacer funcionar a las válvulas de admisión y escape es proporcionada por el “eje cigüeñal”, mediante un mecanismo de transmisión de movimiento, que, por lo general, está compuesto por lo siguiente:

Eje de Levas o Camones. También denominado “árbol de camones” que es impulsado por el cigüeñal por medio de un tren de engranajes. Su función es, mediante las varillas de accionamiento y los balancines, abrir las válvulas de admisión y escape, por medio de los camones o levas de manera sincronizada.

Eje de Levas o “Camones”



Los resortes de las válvulas las mantienen cerradas, y, al girar este eje, los camones empujan mediante las varillas de balancín el resorte produciendo la apertura de las válvulas en el momento adecuado.

Las varillas de balancín. Transmiten el empuje hacia el balancín.

El balancín. Instalado en un eje fijo, sin movimiento, alineado sobre la línea de las culatas, permite mediante un juego de palanca transmitir la fuerza para abrir las válvulas de admisión y/o escape. La varilla de balancín impulsa un extremo del balancín hacia arriba; el juego de palanca hace que el otro extremo presione hacia abajo el vástago de la válvula, que se mantiene arriba por la fuerza contraria del resorte.

- **Inyectores de Combustible:**

El combustible es entregado dentro de la cámara de combustión del motor mediante un sistema de inyección que consiste de una bomba de alimentación, líneas de combustible e inyectores.

Los inyectores de combustible “válvulas o toberas inyectoras” son un tipo de válvulas que tienen la función de permitir el ingreso de combustible-diésel pulverizado dentro de la cámara de combustión del motor. Son componentes de alta precisión, que están compuestos por una válvula de aguja y un cuerpo. Estas dos piezas están ensambladas con ajustes muy finos, por lo que deben considerarse como un conjunto.

Estos inyectores están instalados sobre unos porta-inyectores que aseguran la alimentación de combustible desde la bomba, ya que el combustible llega a los porta-inyectores por unos tubos de acero. Estos porta-inyectores cuentan con un filtro en la tubería de llegada cuya finalidad es asegurar una mayor protección del inyector ante el ingreso al sistema de impurezas.

Dentro del inyector, un canal interno conduce el combustible hacia la cámara de presión que rodea la punta de la aguja, cuyo asiento se presiona firmemente contra el cuerpo del inyector, por la acción del resorte del porta-inyector, cerrando el orificio de descarga.

Por efecto de la diferencia de sección entre la junta de la aguja y el diámetro interior del cuerpo de inyector, la presión del combustible ejerce un empuje sobre la aguja que tiende a separarla de su asiento; cuando este empuje es superior al del resorte, la aguja se levanta y el combustible es liberado a los orificios capilares de ésta para ser pulverizado finamente en la cámara de combustión, comenzando la

inyección. En cuanto la presión baja, la aguja cae sobre su asiento y cierra el inyector.

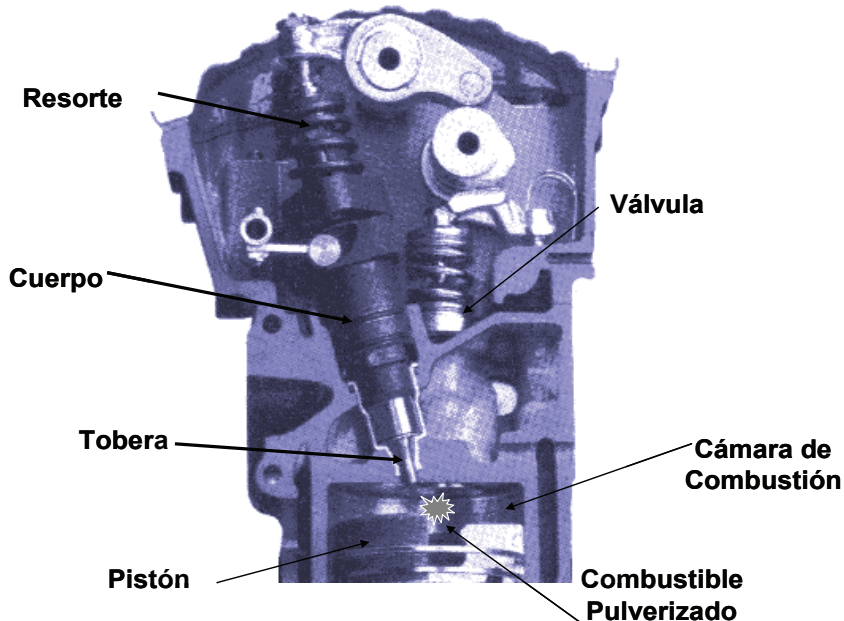
La mayoría de motores diésel llevan las válvulas inyectoras o inyectoras de combustible instalados en las culatas. El inyector debe estar firmemente asegurado en la culata para que pueda soportar las presiones del cilindro y debe ser enfriado mientras el motor esté en marcha.

Para Motores Diésel Navales, son elementos fundamentales en el funcionamiento del sistema de Inyección y en el rendimiento del motor, son extremadamente sensibles a la calidad del combustible y a la atención prestada a su filtrado requiriendo permanente monitoreo y mantenimiento.

Un inyector de combustible de un Motor Diésel Naval siempre estará sometido a:

- Altas presiones de funcionamiento.
- Gran frecuencia de funcionamiento
- Altas temperaturas.
- Pequeño juego entre las piezas móviles.

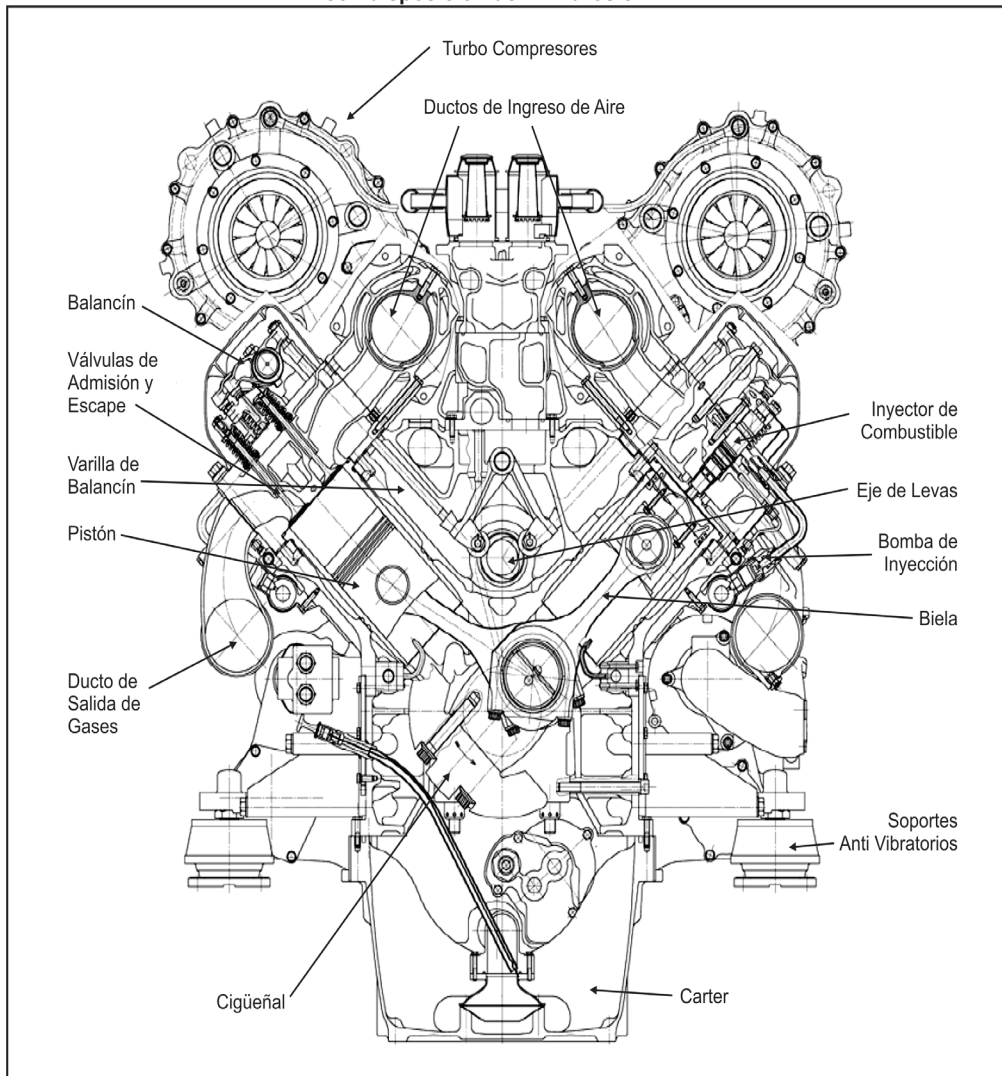
**Inyector de Combustible de un
Motor Ciclo Diésel montado en una Culata**



Inyector de
Combustible



Diagrama Seccional de un Motor Diésel
con disposición de Cilindros en "V"



5.2.2 Sistemas Principales

El funcionamiento de un Motor Diésel de propulsión naval requiere de sistemas con características particulares para su empleo en buques de guerra. Los principales sistemas de estos motores son los siguientes:

- Sistema de Admisión de Aire.
- Sistema de Gases de Escape.
- Sistema de Combustible.
- Sistema de Lubricación.
- Sistema de Arranque.
- Sistema de Refrigeración

5.2.2.1 Sistema de Admisión de Aire

Un motor diésel para su funcionamiento requiere de un suministro continuo de aire y combustible. El aire debe ser conducido desde el exterior, filtrado y suministrado a una presión y temperatura adecuadas de acuerdo con los requerimientos del motor. Además, debe ser conducido a cada uno de los cilindros en el momento oportuno, para lo cual debe existir un sistema de válvulas de admisión accionadas sincronizadamente.

El Sistema de Admisión de Aire es la combinación de componentes a través de los cuales se provee el aire requerido para la combustión del combustible diésel dentro de los cilindros.

En los modernos motores diésel de propulsión naval, ya sean de dos tiempos de los buques auxiliares o los rápidos motores de cuatro tiempos de las plantas de fragatas o corbetas, es importante mejorar la eficiencia y aumentar la potencia diseñando motores compactos con relaciones Peso-Potencia adecuadas.

El Sistema de Aire de estos motores debe adicionalmente sobre-alimentar de aire al motor, es decir, introducir aire por encima de la presión atmosférica, lo cual permite que en el mismo volumen del cilindro se pueda quemar una cantidad mayor de combustible, por unidad de tiempo, lo cual se traduce en un aumento de la potencia del motor.

Para esto, el sistema requiere de bombas de aire o ventiladores, que en la mayoría de los casos son del tipo turbo-compresores, los cuales emplean para su movimiento a los gases de escape.

Funciones del Sistema:

- Suministrar aire limpio necesario para la combustión del motor con la presión y temperatura adecuadas.
- Sobrealimentar al motor para aumentar la potencia entregada.
- Limpiar el aire de admisión.
- Silenciar el ruido de admisión.
- En los motores de dos tiempos, debe barrer de los cilindros los gases quemados.

Componentes del Sistema:**Los Filtros de Aire:**

Son fibras por las que el aire pasa con la finalidad de remover las partículas de polvo u otras impurezas que tiene el aire que ingresa y evitar el daño a las superficies internas del motor. Adicionalmente, los sistemas de admisión de aire a bordo consideran mallas para retener los pedazos de trapos y otros objetos grandes que puedan introducirse.

Silenciador de Admisión:

Estos componentes son usados para reducir el ruido que produce el aire al ingresar al motor. En los sistemas de a bordo, los silenciadores de admisión y los filtros de aire se fabrican generalmente como una misma unidad.

Cabezales de Admisión y Tuberías:

Para no reducir la eficiencia de los motores diésel principalmente los de cuatro tiempos, las cajas de aire y las tuberías deben ofrecer la menor resistencia posible al flujo de aire, deben evitarse los codos y las pequeñas áreas de flujo turbulento, para lo cual el diseño de los ductos de ingreso de aire y los componentes como válvulas, enfriadores y otros elementos deben ser cuidadosamente diseñados y mantenidos.

Asimismo, estos elementos deben distribuir adecuadamente el aire en cada una de las unidades.

Las Válvulas de admisión:

En motores de cuatro tiempos, estas válvulas están ubicadas en la culata de cada unidad; generalmente, son del tipo cónico con vástago, las cuales se encuentran cerradas por medio de un resorte que las mantiene sobre un asiento que asegura su sellado. Este resorte es

presionado por acción del giro del eje de levas a través de los balancines y varillas, y permiten al ser abiertas el flujo de aire a cada cilindro de manera sincronizada de acuerdo con el tiempo del motor.

Debe tenerse cuidado en verificar el buen estado de válvulas y asientos para evitar pérdidas de compresión del cilindro y mal funcionamiento del motor.

El Turbo-compresor de Aire:

Este elemento es parte componente de los Sistemas de Admisión de Aire y del Sistema de Escape de Gases, ya que tiene una interfase con ambos sistemas.

Cuenta con dos partes: una que es un compresor generalmente del tipo centrífugo que comprime el aire que llega del exterior a través de las tuberías, de manera continua y es accionado por una turbina movida por la velocidad de los gases de escape que salen de los cilindros luego de la combustión.

En los motores de propulsión naval, el diseño y el número de esto es fundamental en el funcionamiento eficiente del motor. Actualmente, existen motores con turbo-compresores secuenciales, los cuales se van accionando de manera automática de acuerdo con el requerimiento de aire del motor dependiendo del régimen de combustión, lo cual representa una ventaja frente a los turbocompresores en serie de modelos más antiguos que trabajan permanentemente a cualquier régimen de funcionamiento del motor.

Generalmente, la compresión del aire en los turbo-compresores se da en etapas; por ello, existen dos o más de estos componentes en un motor; además, entre estos turbocompresores, se instalan enfriadores de aire.

Los Enfriadores de Aire:

Estos enfriadores de aire se usan en motores de cuatro tiempos con sobrealimentación.

Son intercambiadores de calor que consisten en unas tuberías por las que circula agua, que puede ser dulce o agua de mar dependiendo del diseño, unidas a unas placas disipadoras de calor por las que es obligado a pasar el aire que ha sido comprimido en una etapa del turbocompresor.

La finalidad de este enfriador es bajar la temperatura del aire que se ha incrementado por efecto de la compresión para, de esta manera, reducir su volumen antes de ser ingresado a las unidades del motor.

5.2.2.2 Sistema de Gases de Escape

La combinación de componentes a través de los cuales los gases de escape salen del motor diésel se llama Sistema de Gases de Escape. El principal objetivo de este sistema es conducir estos gases desde los cilindros del motor hacia la atmósfera con un mínimo de resistencia al flujo.

Funciones:

- Silenciar el ruido del escape.
- Eliminar las chispas y otras materias sólidas contenidas en los gases de escape.
- Suministrar la energía necesaria a los Turbo-compresores accionados por los gases de escape.

Componentes del Sistema:

Válvulas de Escape:

Son accionadas por el eje de levas a través de varillas y balancines y su función es la de permitir la salida de los gases generados en el cilindro después de haber trabajado en el Motor.

Colector o Múltiple de Escape:

En los Motores diésel de propulsión naval, este colector tiene la finalidad de “colectar” los gases de escape de los cilindros para conducirlos hacia la turbina del turbo-compresor.

Este colector está compuesto por diversos segmentos rígidos y flexibles con la finalidad de poder absorber las dilataciones del metal producto de los cambios de temperatura, además de las vibraciones producidas por el motor. Es importante también tener especial cuidado con las empaquetaduras y pernos de amarre de los segmentos componentes de este colector para prevenir fugas de gases que reduzcan la eficiencia del turbo-compresor.

Tuberías de escape:

Conecta el colector de escape con los turbo-compresores hacia el lado de la turbina y con la tubería de salida de gases del buque o la "Chimenea".

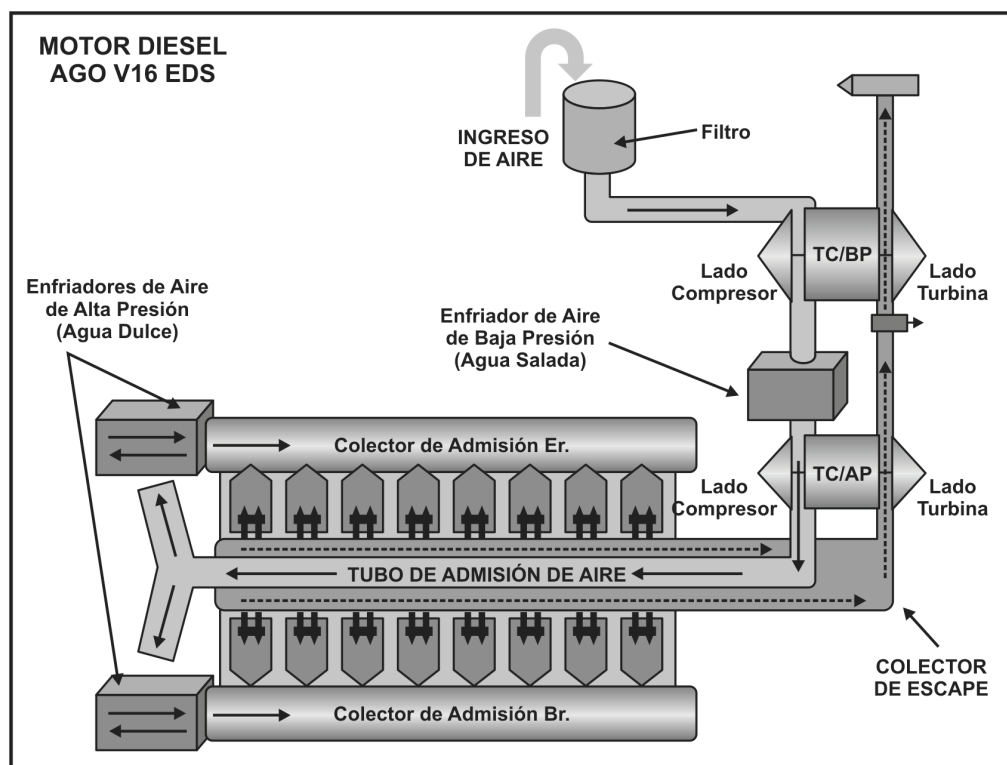
Turbo-compresor:

Su finalidad y funcionamiento ya ha sido descrito en el desarrollo del Sistema de Admisión de Aire.

Tubería de salida y silenciadores:

Está conectada al silenciador por el lado de descarga y tiene la función de permitir la salida a los gases de escape hacia la atmósfera. Los silenciadores instalados en estos ductos se usan para hacer menos ruidosa la salida de los gases de escape al exterior.

Sistema de Admisión de Aire y Gases de Escape del Motor Diésel Propulsor de una Corbeta Clase "Velarde"



5.2.2.3 Sistema de Inyección de Combustible

Las características de los motores de combustión interna dependen en gran parte del buen funcionamiento de su equipo de inyección y particularmente de sus inyectores. El máximo rendimiento de estos motores sólo es posible de obtener dosificando minuciosamente el combustible-diésel, en función a la potencia requerida; por otra parte, es fundamental que cada inyección se realice en condiciones que el combustible pueda ser completamente quemado sin producción de humos en el escape ni residuos de carbón que puedan acumularse dentro del motor.

El Sistema de Inyección de combustible de un motor diésel es el conjunto de elementos que tienen la función de proveer combustible al motor con las características de calidad y cantidad adecuadas, y en el momento preciso. Para ello, el Sistema de Inyección debe realizar las siguientes funciones:

- La cantidad de combustible inyectado tiene que ser constante para todos los ciclos (bajo las mismas condiciones de carga) y en cada cilindro para obtener la misma potencia en cada uno de ellos obteniendo un funcionamiento suave y regular; además, evita sobrecargas y recalentamiento de ciertos cilindros.
- Hay un instante óptimo para la inyección del combustible en el ciclo para cada condición de carga y velocidad; la inyección empieza antes de que el pistón haya alcanzado el PMS al final del tiempo de compresión.
- La inyección debe realizarse con un comienzo y un final instantáneo, ya que si esta se produce con un comienzo y final lentos implicaría que las porciones correspondientes de combustible inyectadas no se pulverizarían adecuadamente.
- El combustible-diésel debe ser inyectado en cada cilindro en la proporción y ritmo adecuados para controlar la combustión y la elevación de la presión durante la combustión.
- Proporcionar el grado de pulverización de combustible requerido, el cual depende del tipo y tamaño de la cámara de combustión y de la velocidad del motor.
- Distribuir el combustible homogéneamente con el aire en la cámara de combustión, ya que la potencia del motor y el logro de la combustión completa dependen de una buena distribución del combustible en la carga de aire.

Funcionamiento:

El combustible es bombeado desde los tanques de almacenamiento al tanque de servicio del motor; de ahí, es entregado a las bombas de inyección. El combustible antes de que ingrese al tanque de servicio debe limpiarse de todo sedimento y agua; esto se hace mediante el uso de purificadores generalmente de tipo centrífugo.

Luego, el combustible es transferido por medio de una bomba de alimentación pasando a través de los filtros hacia el motor. Este es distribuido y dosificado de acuerdo con el requerimiento de potencia mediante las bombas de inyección, una para cada unidad pistón-cilindro. El combustible en exceso que ha sido bombeado retorna desde las bombas de inyección hacia los tanques de desfogue. Las bombas de inyección distribuyen el combustible por tuberías a los inyectores ubicados en cada uno de los cilindros, los cuales ingresan el combustible pulverizado en los cilindros facilitando su combustión.

Componentes del Sistema:**Tanque de almacenamiento de combustible:**

Almacenan el combustible en el buque, deben mantener el combustible en condiciones de uso adecuadas; para ello, es necesario sondeos permanentes así como mantenimiento periódico para evitar la contaminación.

Bomba de trasvase de combustible:

Son generalmente bombas eléctricas cuya función es pasar el combustible de un tanque de almacenamiento a otro, o enviarlo al tanque de servicio o uso inmediato de cada motor o en cada sala de máquinas.

Tanque de servicio:

Llamado también de consumo o uso inmediato, tiene la finalidad de proveer combustible-diésel al motor; generalmente, es ventilado a la atmósfera y es montado en un punto alto del sistema para permitir que todo el aire escape al exterior facilitando la purga de aire.

Purificadores:

Se usan para purificar el combustible, separando el agua y otros sedimentos líquidos. Generalmente, son del tipo centrífugo y, aunque no están instalados en todas las plantas, son muy necesarios para mantener el combustible en óptimas condiciones.

Filtros:

Son generalmente del tipo “dúplex”, es decir, dos filtros gemelos y una válvula tipo “By-pass”, compuestos por discos metálicos, cerámica o papel filtrante; tienen la función de separar partículas sólidas que puedan encontrarse en el combustible, como polvo, pequeñas partículas metálicas, entre otras, las que de introducirse en el sistema pueden causar severos daños al motor. En los Motores Diésel Navales, se instalan varios tipos de filtros para garantizar el buen funcionamiento y mínimo desgaste de las piezas móviles del sistema como bombas e inyectores en el circuito de alta presión, donde la precisión de los ajustes y su mantenimiento son esenciales.

La cantidad, los tipos y la distribución de los filtros dependen del diseño del motor.

Bomba de Combustible:

También es denominada bomba de “baja presión”. Todos los Sistemas de combustible de Motores Diésel Navales cuentan con al menos una para alimentar al sistema de “alta presión” (bombas de inyección).

Generalmente, son accionadas eléctricamente para “purgar” en el arranque del motor; luego, se pasan a utilizar las bombas “arrastradas” por el mismo motor. Tienen la función de enviar el combustible a baja presión hacia los filtros y, después, a las bombas de inyección. Estas bombas de alimentación pueden ser de muchos tipos; las más usuales son las de engranajes, las de paletas y las alternativas.

Bombas de inyección de combustible:

Son llamadas también bombas de alta presión; de manera general, estas bombas son del tipo leva-pistón, aspirantes-impelentes. Están compuestas por un pistón, accionado por una leva y un resorte, el cual se desliza dentro de un cilindro que posee dos válvulas, una de aspiración y otra de descarga (hacia los inyectores). Estas bombas reciben combustible de la bomba de alimentación o por gravedad directamente del tanque de servicio que se encuentra en algunos sistemas más elevado.

En los motores diésel de propulsión naval, son bombas individuales, una por cada unidad, y funcionan de acuerdo con el requerimiento de potencia que determina la posición del “Gobernador de Velocidad”. Su función es enviar un flujo de combustible a los inyectores.

En general, para que el Sistema de Inyección de Combustible y especialmente las bombas de inyección sean prácticas para su uso en Motores Diésel Navales, debe reunir características particulares como:

- Mantener su ajuste durante un periodo de tiempo razonable, y no perderlo debido a las vibraciones en conexión con el motor.
- Ser económico en potencia.
- Ser ligero y poco voluminoso, especialmente en motores medianos.
- Ser de funcionamiento silencioso.

Sistema de Inyección de Combustible del motor SACM AGO 240 16V EDS

El sistema de combustible de estos motores instalados en las Corbetas clase "Velarde" cuenta con los siguientes componentes:

- Una bomba primaria arrastrada por el motor (Bomba MEROBEL).
- Un filtro primario, tipo cartucho descartable.
- Un filtro tipo dúplex, secundario descartable.
- Bombas de Inyección: (16, ocho a cada banda).
- Inyectores de combustible, uno por cada unidad.
- Una bomba manual para cebado del circuito (Bomba JAPY).
- Una válvula reguladora de presión (válvula de retorno).
- Colector de reboses, con sistema de alarma sonoro y luminoso.

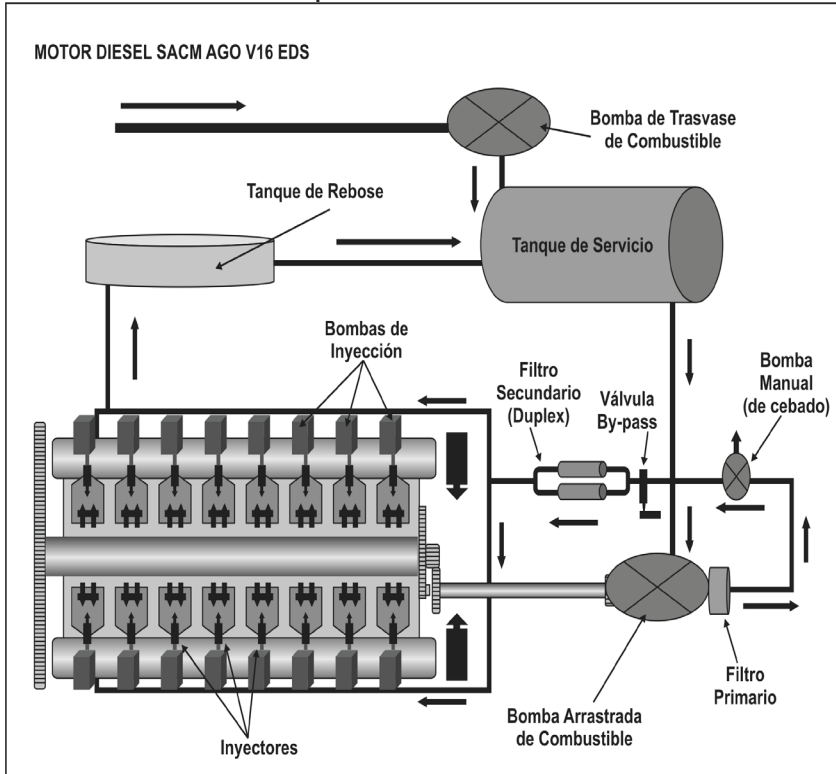
La bomba primaria succiona directamente del tanque de consumo o uso inmediato, pasando el combustible por los filtros primarios y secundarios.

La descarga de esta bomba alimenta al motor por medio de dos tuberías, a los dos bloques de bombas de inyección instaladas ocho a cada banda. Estas bombas envían el flujo de combustible a los inyectores ubicados en las culatas de cada unidad. El excedente de petróleo, dependiendo del régimen de potencia del motor, retorna nuevamente al tanque a través de una válvula reguladora de presión que mantiene el circuito a 1.4 bar. de presión.

En caso de rotura de una tubería de inyección, o de fuga por la cubierta del filtro secundario, el petróleo va hacia un tanque pequeño, provisto de un flotador que cuenta con una alarma sonora y luminosa, cuando el tanque se encuentra lleno.

La bomba manual (JAPY) instalada tiene la finalidad de suplir la succión de la bomba arrastrada en caso de emergencia, y en condiciones normales es utilizada para el cebado del circuito.

**Sistema de Inyección de Combustible de los
Motores Diésel Propulsores de una Corbeta Clase "Velarde"**



5.2.2.4 Sistema de Lubricación

El Sistema de Lubricación tiene la función de proveer aceite libre de impurezas y a una temperatura adecuada para la lubricación de:

- Cojinetes de bancada del cigüeñal
- Cojinetes de biela
- Las bielas
- Los pistones
- Los ejes de levas
- Los balancines
- El tren de engranajes y otros mecanismos estriados del motor.

Lubricación:

Es interponer entre dos superficies en movimiento una película de aceite de tal espesor que se elimine el contacto entre metal y metal, reduciendo la fricción y las pérdidas resultantes y protegiendo a las partes en movimiento.

Componentes del Sistema:

Bombas:

Generalmente, están impulsadas por el mismo motor (Bombas arrastradas). Suministran el aceite a presiones que están ajustadas a los requerimientos del motor.

Existen bombas de pre-lubricación, que tienen la finalidad de lubricar el motor antes de su puesta en servicio reduciendo el desgaste de las piezas en los arranques.

Enfriadores:

El aceite, al pasar por el circuito interno del motor, absorbe el calor del metal en las diversas partes que lubrica, ya que a temperaturas altas tiende a oxidarse rápidamente y a formar depósitos de carbón incrementando su consumo. Es necesario su enfriamiento para mantenerlo dentro del rango de temperatura de operación eficiente; esta función se lleva a cabo mediante los enfriadores de aceite.

Estos son intercambiadores de calor, en los que generalmente el fluido refrigerante es agua dulce del circuito de refrigeración, la cual circula mediante la bomba circuladora de agua dulce.

Filtros:

Se usan para remover partículas abrasivas y materiales extraños que tienden a aumentar el desgaste de las partes del motor y a causar el deterioro del aceite lubricante. Tienen la función de mantener la calidad del aceite y alargar los intervalos de sustitución. Pueden ser:

- Filtros Coladores con marco de metal y malla fina, que detienen las partículas mayores y generalmente son lavables.
- Filtros de cartuchos absorbentes, que son descartables, de material absorbente, como celulosa, algodón, residuos de algodón o discos de papel. Detienen partículas menores.

Purificadores:

Al igual que en el sistema de combustible, estos purificadores tienen la función principal de separar contaminantes líquidos del aceite lubricante; generalmente, son del tipo centrífugo.

Operación del Sistema:

Las bombas de aceite que están montadas fuera del cárter aspiran el aceite de este, y lo descargan al motor previamente filtrado y enfriado.

Este aceite ingresa al motor por unos conductos transversales que se encuentran en las dos extremidades del monoblock, unidos a un conducto central que se halla generalmente debajo del conducto de agua de refrigeración. Una vez en el interior del motor, el aceite que se desplaza por conductos internos lubrica diferentes partes internas del motor: el "árbol cigüeñal", a través de unos conductos taladrados en cada descanso entre los cojinetes de bancada y unidos al conducto central, los "ejes de Levas", los balancines y varillas de balancín. Además, lubrica las cabezas de las bielas y bieletas que se efectúa por conductos de aceite que desembocan en los muñones del cigüeñal.

Así mismo, este aceite cumple la función de enfriamiento de los pistones por medio de un chorro de aceite que procede de unos surtidores y es dirigido hacia una cavidad anular y concéntrica de los anillos de los pistones. El retorno de este aceite se hace por gravedad hacia el cárter del motor.

5.2.2.5 Sistema de Arranque

Para arrancar o iniciar el funcionamiento de un motor diésel, el cigüeñal del mismo debe girarse por algún medio externo, de manera tal que el aire en el cilindro se comprima a la temperatura y presión necesarias para que el combustible suministrado por el sistema de inyección se inflame y produzca una primera carrera de potencia que inicie el ciclo.

Para esto, el sistema debe cumplir las siguientes condiciones:

- Girar el cigüeñal con suficiente velocidad, para evitar obtener una presión de compresión y una temperatura al final de la carrera por debajo de los valores necesarios para inflamar el combustible inyectado.
- Una correcta relación de compresión. Si la relación de compresión no es suficientemente elevada, la temperatura y presión finales de la carga de aire comprimido no será la requerida para la ignición.

Métodos de Arranque:

- Arranque eléctrico para motores pequeños (Grupos Electrógenos)
- Arranque por aire comprimido para los motores medianos y grandes (Motores Propulsores)

Arranque Eléctrico

Similar diseño del sistema de arranque de un automóvil, pero más poderoso, porque los motores de encendido por compresión (diésel) requieren mayor cantidad de energía para hacerlos girar, en comparación con los motores de encendido por chispa. Componentes:

- Batería
- Motor de Arranque de corriente directa
- Conexión mecánica con el cigüeñal del motor
- Generador eléctrico auxiliar
- Cableado, alambres e interruptores

Arranque por Aire Comprimido:

El aire comprimido es usado como la fuente de energía de arranque que se expande en los cilindros del motor, ya sea:

- Con un mecanismo valvular de arranque o
- Con un motor de arranque neumático tipo turbina.

El aire comprimido empleado para el arranque se repone usando un compresor externo y almacenando el aire a presión en botellas destinadas para tal fin.

En la mayoría de los sistemas de arranque por aire, el aire comprimido se admite en el cilindro del motor, a través de válvulas de arranque especiales montadas en las culatas del cilindro.

En otros casos, el aire acciona un motor neumático de arranque que se acopla a la volante del motor y la arrastra hasta que alcance la velocidad suficiente para que se produzca la combustión al interior, luego de lo cual el mecanismo se desconecta.

Sistema de Arranque Neumático de los Motores Diésel de Propulsión de las Corbetas clase "Velarde"

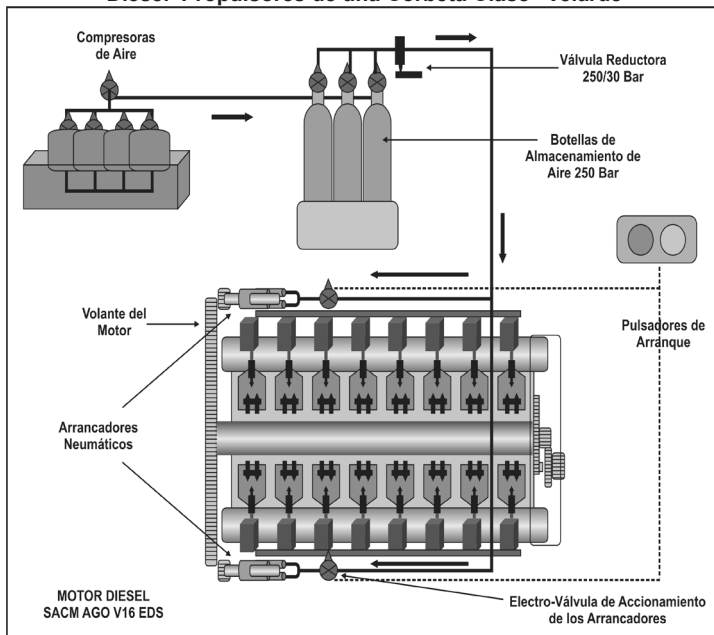
El arranque de los motores SACM AGO V16 EDS de las Corbetas clase "Velarde" se realiza por medio de dos arrancadores neumáticos.

El aire comprimido procedente de botellas de almacenamiento a 250 bar. de presión, que previamente pasa por una válvula reductora 250/30 bar. es dirigido por dos líneas que van a alimentar a cada uno de los dos arrancadores neumáticos con que cuenta el sistema.

Una electro-válvula es energizada al momento de presionar el pulsador de arranque y gobierna su apertura para que, de esta manera, los arrancadores reciban el aire requerido para su funcionamiento.

Cuando el motor llega a 150 RPM que es su velocidad de auto-sustentación, esta electro-válvula se des-energiza cerrando el pase del aire a los arrancadores, y volviendo estos a su posición inicial.

Sistema de Arranque Neumático de los Motores Diésel Propulsores de una Corbeta Clase "Velarde"



5.2.2.6 Sistema de Refrigeración

Este sistema tiene la función de extraer el calor acumulado en el motor debido a los efectos de la fricción y de la combustión y mantenerlo dentro de un rango de temperatura adecuado para el funcionamiento óptimo de sus componentes.

Sin el control de la temperatura apropiada, la película de aceite lubricante entre las partes móviles sería destruida, los ajustes entre las diferentes partes no serían mantenidos y los metales tenderían a fallar.

La prevención del sobrecalentamiento es la función principal de un sistema de enfriamiento o refrigeración de un motor. Debe, por este motivo, mantenerse la temperatura del motor dentro de los límites especificados.

Este sistema cumple adicionalmente la función de precalentar el motor antes de su arranque. Para cumplir esta función, hace circular agua por el sistema de refrigeración, la cual ha sido previa y secuencialmente calentada por una resistencia eléctrica hasta alcanzar la temperatura óptima de arranque del motor. Esto es necesario, por las siguientes razones:

Si la temperatura es muy baja:

- Habrá condensación causando la formación de ácidos y fango en el aceite lubricante.
- Provocará retraso de la ignición, lo cual causará detonación.
- Aumentan los gases corrosivos en los cilindros del motor.

Si hay grandes diferencias en la temperatura de operación:

- Causan la contracción y expansión excesiva de las diversas partes del motor.
- Estos cambios en las dimensiones resultan en una variación en el ajuste de las partes móviles.

El Sistema de Lubricación está compuesto en la mayoría de motores Diésel de uso marino de dos Sub-sistemas:

Sistema Abierto:

Circuito de agua de mar (Intercambiador de calor). El agua de mar es bombeada por una bomba que se alimenta desde la toma de fondo, pasa por los tubos del enfriador de aceite, por el enfriador de agua dulce y luego es descargada al mar.

Sistema Cerrado:

Un flujo de agua dulce circula continuamente, por medio de una bomba, a través de las camisas del motor y el Monoblock; luego, pasa por el enfriador de agua y, después, regresa al motor cerrando el circuito.

Operación del Sistema:

La refrigeración interna de un Motor Diésel Naval de propulsión (sistema cerrado) es efectuada por un circuito de agua dulce generalmente tratada (para limitar los efectos de la corrosión en el monoblock y en las culatas).

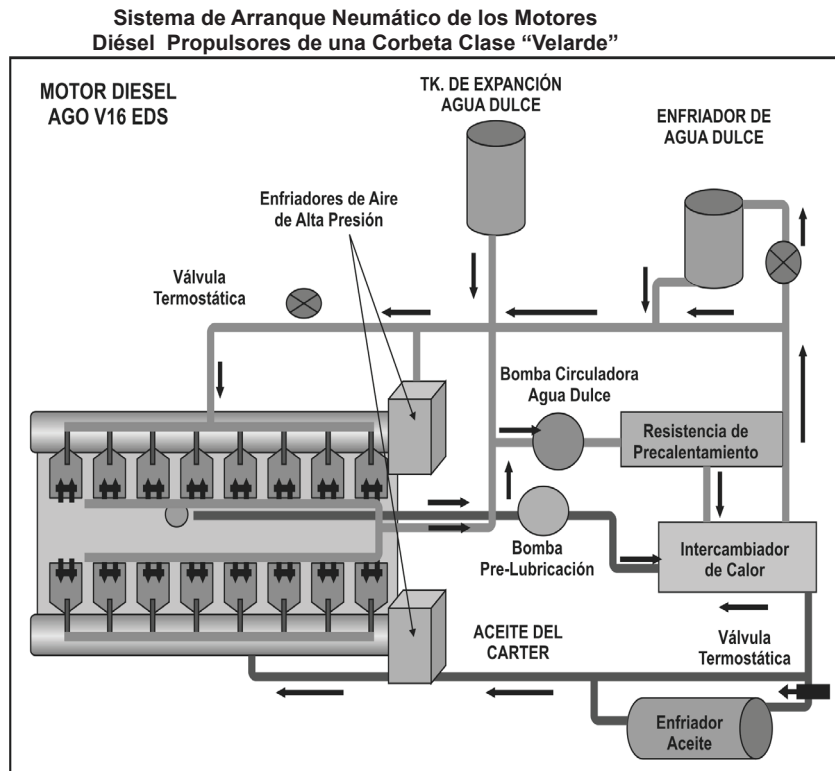
El agua de enfriamiento es aspirada por la bomba de circulación desde el sistema que es alimentado por un tanque de compensación y es dirigida sucesivamente hacia:

- El monoblock
- Las camisas
- Las culatas
- El cárter de los turbocompresores
- El colector de retorno

Después, esta agua es canalizada fuera del motor hacia un intercambiador de calor agua/agua, donde es refrigerada por agua de mar asegurando su enfriamiento; una vez enfriada esta agua, es devuelta a la circulación por medio de la bomba.

El caudal de agua de mar para refrigeración es asegurado por una bomba arrastrada por el motor; este caudal es utilizado, además, para refrigerar otros accesorios (Sistema Abierto).

Para la refrigeración del monoblock, la bomba de circulación de agua dulce está unida a un canal longitudinal alojado generalmente en la parte mediana superior del monoblock; este canal comunica con unas cámaras situadas para cada cilindro entre los espacios inferiores y superiores de las camisas. En el contorno superior de las camisas, existen orificios de paso de agua que permiten su acceso a las culatas. La refrigeración de las culatas está dada por unas cavidades y tabiques que aseguran una circulación óptima del agua en los lugares críticos: inyector, fondo de culata y guías de válvulas. La refrigeración de pistones está asegurada por el sistema de lubricación.



5.3 Ventajas y Desventajas de las Plantas de Propulsión con Motores Ciclo Diésel

Después de haber analizado los principios de funcionamiento y descrito los componentes y sistemas relacionados con los motores Ciclo Diésel, es necesario definir cuáles son los aspectos más ventajosos y qué aspectos son desventajosos en la operación de plantas de propulsión con estos motores, en comparación con otros sistemas disponibles.

Antes de plantear estas ventajas y desventajas, es necesario también explicar el motivo por el cual los motores Ciclo Otto no son empleados actualmente en propulsión Naval.

Motores a Gasolina: Ciclo Otto

Este tipo de motores no son usados en propulsión naval, a excepción de algunas pequeñas embarcaciones tipo lanchas rápidas o en motores fuera de borda; a pesar de que estos motores tienen una muy buena relación peso/potencia, solo superadas por las Turbinas a Gas (TAG), debido principalmente a lo costoso de su combustible, y lo riesgoso de su almacenamiento a bordo. Por otra parte, son menos eficientes termodinámicamente que los motores Ciclo Diésel.

Motores Ciclo Diésel

El motor diésel, en general, realiza un mejor aprovechamiento del ciclo térmico y su consumo de combustible tiende a ser menor frente a otro tipo de motores de combustión interna de igual potencia, esta característica principalmente la tienen los motores Ciclo Diésel lentos de dos tiempos que, además, pueden consumir combustibles residuales.

La contaminación del medio ambiente es otro aspecto a favor de los motores Ciclo Diésel, ya que estos trabajan con un exceso de aire en el cilindro logrando una mejor combustión que reduce el monóxido de carbono.

A continuación, se han planteado ciertas ventajas y desventajas relacionadas con la operación de plantas de propulsión con motores Ciclo Diésel.

Ventajas:

- Tienen mejor relación peso/potencia que las plantas a vapor.
- Utilizan combustible que puede ser almacenado con seguridad a bordo de buques de guerra.
- Son más eficientes a cargas parciales que las turbinas a gas TAG.
- Los motores lentos de dos tiempos, de conexión directa al eje de propulsión son muy eficientes para velocidades de crucero; por eso, son usados en buques mercantes o auxiliares.
- Su mantenimiento requiere menos calificación y especialización por parte del personal esta característica en relación a las turbinas a gas TAG.

Desventajas:

- Su mantenimiento es más frecuente que en las TAG, debido a la gran cantidad de piezas en movimiento, lo cual a la larga hace que la operación de estos motores sea más costosa.
- Requieren de un mayor cuidado que en las TAG con el tratamiento del combustible (filtrado y purificado), ya que su sistema de Inyección es extremadamente sensible a contaminación o impurezas.
- No pueden suministrar energía a sistemas auxiliares como en el caso de las plantas a vapor.
- Producen ruidos de baja frecuencia de gran propagación submarina fácilmente detectables por sonares pasivos.
- Tienen menor relación peso/potencia que las TAG.

CAPÍTULO 6

PLANTAS DE PROPULSIÓN DIÉSEL-ELÉCTRICAS PARA SUBMARINOS

6.1 Descripción de la Planta de Propulsión Diésel-Eléctrica

Las condiciones especiales de operación de un submarino plantearon problemas adicionales a los diseñadores, ya que estas naves requieren sistemas de propulsión que puedan operar cuando se encuentren en inmersión, es decir, sin suministro de aire. El sistema de propulsión Diésel-Eléctrico ha sido, desde un inicio, la solución de ingeniería más utilizada a este problema particular, ya que considera un elemento acumulador de energía que permite propulsar al submarino cuando está sumergido. A excepción de los submarinos con reactores nucleares y algunos pocos con plantas experimentales independientes de superficie, este sistema sigue siendo la forma de propulsión de submarinos convencionales.

El presente capítulo pretende explicar al lector el funcionamiento de este tipo de plantas de propulsión tomando como base los sistemas de los submarinos tipo 209 en servicio en nuestra Fuerza de Submarinos. Adicionalmente, se efectuará una descripción de los principales componentes de este sistema de propulsión haciendo énfasis en la función que desempeñan dentro del sistema.

6.1.1 Funcionamiento de la Planta

La función de este sistema es proporcionar la energía necesaria para la propulsión del buque en sus diferentes condiciones de operación, incluyendo los procesos para efectuar las cargas de baterías.

El sistema está diseñado de manera tal que la hélice siempre es accionada por un motor eléctrico denominado: Motor de Propulsión, el cual está directamente acoplado al eje sin requerir ningún sistema de reducción, permitiendo, mediante un conjunto de bobinados y armaduras, diferentes tipos de conexiones que determinan los diferentes regímenes de velocidad, en marcha adelante y marcha atrás.

Para su funcionamiento, este sistema cuenta también con eficientes motores Diésel-generadores, cuya función es convertir la energía calorífica del combustible en energía eléctrica para alimentar a los Motores Propulsores o a los bancos de baterías.

Este diseño permite que el Motor sea alimentado desde los bancos de baterías o desde los generadores principales, dependiendo si el submarino se encuentra navegando en superficie, en inmersión o en snorkel.

Además, la instalación permite diferentes modos de operación: en automático, semiautomático y manual (los cuales serán descritos con detalle más adelante). Con esto, se logra un sistema muy flexible y eficiente.

6.1.2 Partes Componentes

Los sistemas de propulsión Diésel-Eléctricos para Submarinos requieren, para su operación, una serie de componentes, cada uno de los cuales tiene una función específica dentro del sistema. Estos componentes son los siguientes:

- Motor de propulsión
- Control Principal
- Tablero Principal
- Grupo excitatriz
- Tablero de Generadores
- Control de Máquinas Diésel y Generadores Principales
- Generadores Principales
- Baterías

6.1.2.1 Motor de Propulsión

Los Motores de Propulsión son motores eléctricos de características particulares, cuya función es convertir la energía eléctrica proveniente de los Bancos de Baterías o de los Generadores Principales en energía mecánica capaz de mover la hélice de propulsión del submarino.

Estos motores eléctricos constituyen los componentes más importantes del sistema de propulsión Diésel-eléctrico, ya que son los únicos elementos motrices conectados al eje propulsor. La confiabilidad y seguridad de operación bajo todo tipo de condiciones es un factor de gran importancia en su diseño. Generalmente, son motores de Corriente Directa de doble rotor y doble campo magnético para facilitar los cambios de conexiones internas que permitan la variación de potencia o la inversión del sentido de giro de las hélices para marcha adelante o atrás.

Descripción del Motor de CD Siemens VG 489/50-12 de los Submarinos tipo 209

Es un motor eléctrico de corriente directa (CD), de doble armadura y doble campo. Las armaduras o rotores están montados en un solo eje, y pueden ser conectados eléctricamente en serie o en paralelo mediante sus interruptores principales. Cada armadura cuenta con un anillo compuesto por doce barras porta escobillas con cuatro escobillas dobles cada una. Cada campo consta de doce polos y doce inter-polos, así como de bobinados de compensación.

La carcasa de este motor está dividida en dos secciones: la sección superior a prueba de salpicado de agua y la inferior resistente al agua hasta el borde inferior del eje del motor. Como protección para el caso en que ingrese agua al interior de la carcasa del motor, existen instalados en la parte central inferior del motor dos electrodos, los cuales, cuando el volumen de agua que ha ingresado es aproximadamente 3 litros, encienden una luz de alarma en el Control Principal de la planta.

El eje de las armaduras está soportado por dos (2) descansos: uno a proa y otro a popa. Estos descansos tienen anillos de lubricación, los cuales arrastran el aceite de sus respectivos cárters hasta la parte alta del casquillo superior del descanso.

La ventilación del motor es efectuada con aire del mismo compartimiento mediante ventiladores instalados en la parte superior de la carcasa, los cuales aspiran el aire del compartimiento forzándolo al interior del motor y, luego, pasan a través de enfriadores antes de regresarlo nuevamente al compartimiento.

El motor posee, además, tuberías de achique ubicadas en la parte inferior de la carcasa. Estas tuberías están conectadas, por medio de válvulas, a una bomba de achique, cuya descarga va a la sentina de la sala de motores.

Para su control, el motor cuenta con sensores remotos de temperatura, a la entrada y salida del aire de ventilación y para los descansos del motor. Asimismo con transmisores de revoluciones.

También posee un motor neumático de virado y, para evitar caídas de aislamiento eléctrico a consecuencia de la humedad ambiental, tiene instaladas en su interior resistencias de calentamiento.

6.1.2.2 Control Principal

Es un tablero de control desde el cual se opera y controla la planta de propulsión en los distintos modos de operación: automático, semi-automático y manual. Otra de sus funciones es controlar los procesos de cargas de baterías.

Este tablero de control, en las plantas de propulsión de los Submarinos tipo 209, tiene los siguientes componentes:

- **Volante de Marcha**. Es el mecanismo de control de los interruptores principales que conectan las baterías y las armaduras del Motor de Propulsión, en serie o en paralelo; además, regula las revoluciones del motor cuando se navega en “automático” o “semi-automático”.
- **Selector de Alimentación de Campo**. Selecciona el modo de operación, es decir, el circuito y la fuente de la cual va a ser alimentado el campo del motor de propulsión (Grupo excitatriz o a través del reóstato de campo); así, se determina la operación en “Automático” o “Semi-automático”. La posición “desconectado” del selector permite la operación “Manual”.
- **Interruptor de Desconexión de Emergencia**. Su función es desconectar todos los interruptores principales de la planta, en caso de falla o avería.
- **Control Principal**. Sirve para verificar el funcionamiento del motor de propulsión, baterías y grupo excitatriz, tanto en propulsión como en carga de baterías. Consta de voltímetros, amperímetros, termómetros y lámparas indicadoras.
- **Regulador de RPM**. Es un instrumento del tablero de control que permite regular electrónicamente las RPM del motor de propulsión, controlando la corriente de armadura y corriente de campo, para que éste trabaje dentro de sus parámetros.
- **Relay de Sobrecarga**. Es un elemento de seguridad del sistema. Consta de seis unidades, dos para las armaduras del motor de propulsión y las cuatro restantes para los generadores principales. Sirve para proteger las armaduras del motor de propulsión y de los generadores principales por sobrecargas o corrientes inversas.
- **Selector de Condición de Propulsión**. Tiene la función de seleccionar las condiciones de propulsión, en baterías, Flote o Diésel-eléctrico (las cuales serán explicadas más adelante). Sirve, además, para conectar el circuito de carga de baterías del exterior.

- **Interruptor Auxiliar de Cambio de Marcha**. Invierte el sentido de flujo de la corriente de campo del motor de propulsión, lo que permite el cambio de marcha en forma manual. Este interruptor es utilizado cuando el control principal está fuera de servicio.

6.1.2.3 Tablero Principal

Este tablero tiene la función dentro del sistema de propulsión de conectar las baterías y armaduras del motor de propulsión en los diferentes acoplamientos y, adicionalmente, conectar las baterías al circuito de carga del exterior. Consta principalmente de interruptores, fusibles y resistencias para regular el arranque del motor de propulsión. En los Submarinos tipo 209, se ubican en el compartimiento de controles.

Las diferentes formas de conexión de las baterías y armaduras del motor de propulsión se efectúan mediante 13 interruptores principales, de la siguiente forma:

- Baterías serie, paralelo, serie-paralelo
- Baterías serie, serie paralelo
- Baterías serie
- Baterías serie, serie-paralelo
- Baterías serie, paralelo, serie-paralelo
- Baterías paralelo
- Baterías paralelo
- Baterías paralelo, serie-paralelo
- Armaduras paralelo
- Armaduras motor de propulsión
- Resistencia arranque motor de propulsión, grupo 1 y 2
- Armaduras serie
- Conexión a tierra (Divisor de voltaje)

6.1.2.4 Grupo Excitatriz

Consta de un motor que arrastra mecánicamente al generador de excitación y al generador del regulador de revoluciones que tiene la función de generar la corriente de excitación necesaria para el funcionamiento de los motores de propulsión y para el control de las RPM. Esta corriente es, generalmente, corriente directa CD de 180 a 290 voltios.

El Grupo Excitatriz está conectado cuando el Submarino navega con propulsión en “automático”; su función es proporcionar al Motor de Propulsión la corriente de armadura y de campo necesarias para su operación en la “Etapa de Marcha I”, adelante o atrás, la corriente de

campo necesaria para su operación en las “Etapas II a V” adelante y “Etapas II a III” atrás.

Adicionalmente, tiene la función de proporcionar la alimentación necesaria para la regulación de las RPM del motor de propulsión mediante la volante de marcha en la “Etapa I” adelante o atrás y al regulador de RPM del motor de propulsión, para que este cumpla sus funciones en las “Etapas de Marcha II a V” adelante, así como “Etapas II y III” atrás.

6.1.2.5 Tableros de los Generadores

Su función es conectar los generadores principales a la línea del sistema de propulsión. Está compuesto principalmente por interruptores, fusibles limitadores, válvulas solenoides y reóstatos.

La conexión de los generadores a la línea principal de propulsión es efectuada por cuatro interruptores principales, designados de la siguiente manera:

- Generador N° 1
- Generador N° 2
- Generador N° 3
- Generador N° 4

6.1.2.6 Control de Máquinas Diésel y Generadores Principales

Es un tablero de control, que consta de diferentes instrumentos de señalización y control del funcionamiento de las Máquinas Diésel y sus respectivos Generadores. Cumple las siguientes funciones:

- Poner en servicio, virar, controlar la operación y parar automáticamente las Máquinas Diésel
- Regular y controlar los Generadores Principales
- Conectar y desconectar los Generadores Principales al sistema de propulsión
- Operar automáticamente las válvulas exteriores de escape de gases de las máquinas diésel

6.1.2.7 Generadores Principales

Tienen la función de transformar la energía mecánica entregada por las Máquinas Diésel en energía eléctrica de acuerdo con la teoría electromagnética, y proporcionar esta energía para cargar las baterías, abastecer el consumo auxiliar del buque y alimentar directamente al Motor de Propulsión durante la navegación Diésel-Eléctrica.

Generalmente, son generadores eléctricos del tipo sincrónico de corriente trifásica, contruidos de tal forma que permiten ser arrastrados por las máquinas diésel a través de un acoplamiento flexible.

El estator del generador está formado por placas de chapas para dínamos y está estabilizado por dos anillos de presión. En la carcasa del generador, tiene soldadas platinas contra las que está asegurado el estator, con lo cual se evita el corrimiento axial que pueda producirse por las maniobras del Submarino.

Al igual que en los Motores de Propulsión para evitar caídas de aislamiento eléctrico debido a la humedad ambiental, estos generadores cuentan con resistencias de calentamiento instaladas en la parte inferior de la carcasa del generador, las cuales se conectan cuando el generador se pone fuera de servicio o se para. Adicionalmente, estos generadores cuentan con los siguientes elementos para su protección:

- Sensor de temperatura de bobinados
- Sensor de temperatura de cojinetes
- Sensor de temperatura de aire de refrigeración
- Electrodo de alarma de entrada de agua
- Relay de falla de voltaje
- Relay de falla de corriente

6.1.2.8 Baterías

Baterías o acumuladores eléctricos son dispositivos que tienen la finalidad de almacenar energía eléctrica mediante procesos electroquímicos, que luego pueden revertirse casi en su totalidad, y pueden repetir este proceso un determinado número de veces.

El funcionamiento de una batería eléctrica está basado en algún tipo de proceso reversible, es decir, un proceso cuyos componentes no resulten consumidos ni se pierdan, sino que únicamente se transformen en otros, que puedan volver al estado original dadas ciertas circunstancias. Estas circunstancias, en el caso de las baterías, son la conexión de un circuito externo, durante el proceso de descarga, y el suministro de una corriente, externa, durante lo que se denomina proceso de carga (electrólisis).

Una batería eléctrica consta, básicamente, de dos electrodos, ánodo y cátodo del mismo o de distinto material, sumergidos en un electrolito generalmente líquido.

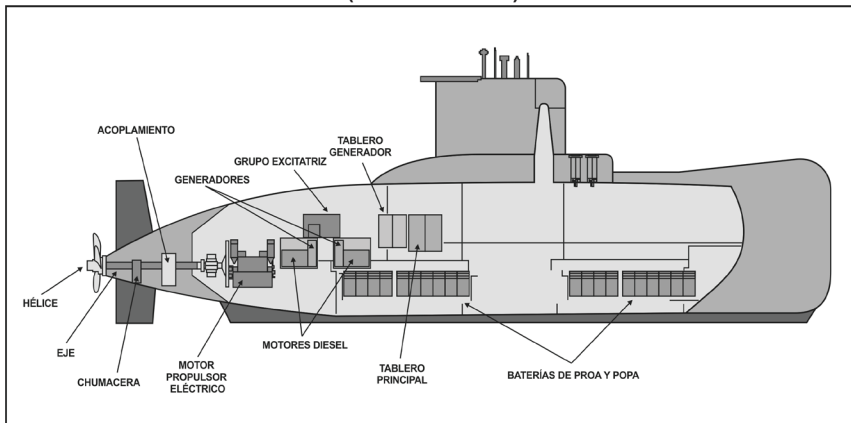
Las baterías utilizadas en el sistema de propulsión Diésel-eléctrico tienen la función de almacenar la energía generada por los generadores

principales cuando las máquinas diésel están en funcionamiento (en superficie o snorkel) y suministrarla al Motor Propulsor de acuerdo con la condición de propulsión del submarino.

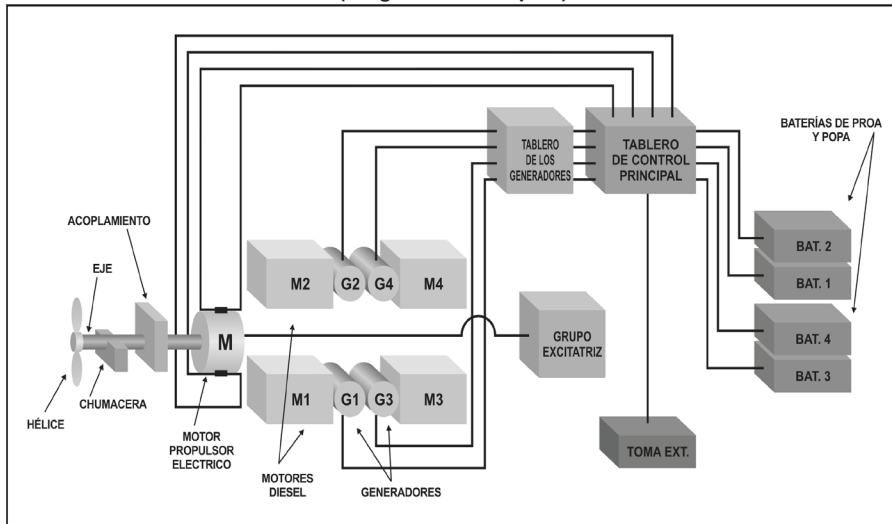
Estas baterías en los Submarinos están almacenadas en tanques ubicados en compartimientos aislados y conectadas debidamente para suministrar el amperaje y voltaje requeridos por la planta.

En los Submarinos tipo 209, existen cuatro Tanques de Baterías que proporcionan la energía eléctrica necesaria para la propulsión y el consumo del buque.

**Planta de Propulsión de un Submarino tipo 209
(Corte seccional)**



**Planta de Propulsión de un Submarino tipo 209
(Diagrama de bloques)**



6.2 Operación de las Plantas de Propulsión Diésel-Eléctricas

Debido a la particularidad de operación de un submarino y de su sistema de propulsión, el control y la operación de este dependen de las conexiones entre las baterías y los campos del “Motor de Propulsión”, así como del suministro de la energía eléctrica desde las baterías o desde los generadores principales, lo cual en el caso de las plantas Diésel-eléctricas de los Submarinos 209 se explica a continuación.

6.2.1 Control de la Planta de Propulsión

Para poder lograr las diferentes velocidades, adelante y atrás del submarino en la planta de propulsión, se efectúan distintos acoplamientos o conexiones entre las baterías y el motor de propulsión; se denominan a éstas “Etapas de Marcha”, las cuales se indican en los siguientes cuadros:

ADELANTE

ETAPAS DE MARCHA	ACOPLAMIENTO DE BATERÍAS	ACOPLAMIENTO DE ARMADURAS
I	PARALELO	SERIE
II	PARALELO	SERIE
III	PARALELO	PARALELO
IV	SERIE	SERIE
V	SERIE	PARALELO

ATRÁS

ETAPAS DE MARCHA	ACOPLAMIENTO DE BATERÍAS	ACOPLAMIENTO DE ARMADURAS
I	PARALELO	SERIE
II	PARALELO	SERIE
III	SERIE-PARALELO	SERIE

Así mismo, la planta de propulsión puede ser operada dependiendo de la forma de alimentación y control de los siguientes modos:

Operación en Automático:

Es efectuada a través del control principal, mediante la volante de marcha y el selector de alimentación de campo.

Esencialmente, consiste en alimentar el campo del motor de propulsión desde el grupo excitatriz a través del regulador de RPM; con esto, se obtiene una regulación automática del campo y, por consiguiente, de las revoluciones del motor de propulsión, de acuerdo con la velocidad deseada.

Con este modo de operación, se logra, además, la estabilización de las revoluciones del motor, pese a las variaciones de carga que puedan producirse en el eje o a la variación del voltaje de las baterías. Por otra parte, esta forma de operación de la planta limita automáticamente las máximas corrientes de campo y armadura del motor; con esto, se asegura una operación libre de fallas por error humano.

Operación Semi-automática:

Es efectuada, a través del control principal, mediante la volante de marcha y el selector de alimentación de campo. Consiste en alimentar el campo del motor de propulsión desde las baterías, mediante un reóstato denominado "Reóstato de Campo", el cual es operado independientemente del control principal.

En este modo de operación, la alteración de las revoluciones del motor de propulsión por variaciones de carga o del voltaje de las baterías no es compensado automáticamente; para esto, debe utilizarse el mencionado "Reóstato de Campo".

Durante la operación en semi-automático, la planta no posee limitación automática de las corrientes de campo y armadura del motor de propulsión, por lo cual es importante que el personal encargado de su operación mantenga una supervisión permanente sobre estas.

Operación Manual:.

Este tipo de forma de operar la planta se lleva a cabo solo en caso de falla del control principal, y consiste en operar localmente los interruptores principales y alimentar el campo del motor de propulsión desde las baterías, mediante el "Reóstato de Campo".

En este caso, el sentido de marcha es también seleccionado manualmente a través del interruptor auxiliar de cambio de marcha.

En este modo de operación, la planta no posee ningún tipo de Inter-seguro eléctrico, tanto para la operación de los interruptores principales como para sobrecargas en el motor de propulsión.

6.2.2 Condiciones de Propulsión del Submarino

Respecto a las condiciones de propulsión, dependiendo de la situación en la que se encuentre operando el submarino, la flexibilidad del sistema Diésel-eléctrico permite operar la planta en las siguientes condiciones:

Propulsión en Baterías:

Se denomina propulsión en baterías a la condición en la que tanto el consumo del “Motor de Propulsión” así como el consumo auxiliar del buque son abastecidos únicamente por las baterías, pudiéndose operar la planta en todos los modos de operación y en todas sus etapas de marcha (excepto la Etapa I en operación manual).

Esta condición de operación de la planta es utilizada con el submarino en inmersión.

Propulsión con Flote:

La propulsión con flote consiste en la conexión en paralelo de los generadores principales con las baterías, por lo que en esta condición los consumos son abastecidos por los generadores principales, absorbiendo las baterías cualquier desequilibrio eléctrico que se pueda presentar.

En esta condición de propulsión, la planta puede ser operada en todos los modos de operación y puede ser utilizada con el submarino en superficie o en snorkel.

Propulsión Diésel – Eléctrica:

La propulsión Diésel-eléctrica consiste en la alimentación de todos los consumos directamente desde los generadores principales, estando las baterías en circuito abierto.

En esta condición de operación de la planta de propulsión, puede ser utilizada también con el submarino en superficie o en snorkel.

CAPÍTULO 7

ENERGÍA NUCLEAR

7.1 Propulsión Nuclear

Para los investigadores, la búsqueda de una fuente capaz de proveer energía ilimitada para hacer funcionar máquinas térmicas que produzcan otras formas de energía o el movimiento de naves con autonomías inimaginables ha sido siempre una preocupación constante.

El concepto de la propulsión nuclear, básicamente, es la generación de energía calorífica en una máquina denominada “Reactor”, para luego emplear esta energía para producir vapor. En este sistema, la fase de generación de vapor es, en principio, muy similar al de una planta a vapor convencional. La diferencia fundamental radica en el tipo de combustible utilizado; mientras en las calderas convencionales se queman hidrocarburos, en procesos químicos de combustión, en las plantas nucleares, los “Reactores” utilizan combustible nuclear y procesos de “Fisión Nuclear” controlados, que generan la energía calorífica necesaria para producir el vapor que posteriormente trabajará en las turbinas que propulsarán el buque.

La durabilidad de estos Reactores y el casi inagotable combustible nuclear hacen que los buques dotados con este tipo de propulsión tengan una ventaja táctica muy superior, ya que cuentan con autonomías de funcionamiento de sus sistemas de propulsión casi ilimitadas. Con capacidades de carga de munición, víveres y aprovisionamientos en general mayores a otros buques equivalentes, pues no requieren almacenar hidrocarburos en grandes cantidades para la operación de sus plantas de propulsión; además, reducen dramáticamente sus costos de operación por este concepto.

Este tipo de propulsión presenta también desventajas, las cuales están relacionadas a los inmensos costos de instalación de las plantas y a lo sofisticado de las tecnologías para la producción del combustible nuclear y la fabricación y mantenimiento de reactores y otros componentes, lo cual hace que no sea adecuado para todos los tipos de buques ni esté disponible para muchas Marinas de Guerra.

Por este motivo, este sistema está limitado a grandes buques con misiones de despliegue a nivel global y gran capacidad para portar armas, que requieran gran autonomía, altas velocidades y grandes potencias de sus sistemas propulsores, como es el caso de los Portaaviones y los Submarinos con misiles intercontinentales.

Así mismo, solo algunos países cuentan con la capacidad tecnológica y las posibilidades financieras para su implementación y soporte, por lo cual su empleo como sistema de propulsión es restringido.

Si bien es cierto que en nuestra Marina de Guerra no está disponible esta tecnología, este capítulo tiene el propósito de plantear tempranamente ciertos conceptos básicos acerca de la energía nuclear y la propulsión naval, así como explicar las posibilidades y las limitaciones de su operación como sistemas de propulsión en Buques de Guerra.

7.2 La Energía Nuclear

El concepto de la energía nuclear tiene origen en la magnitud de la energía con la que están unidos los componentes de los núcleos de los átomos. La energía que mantiene unidos a los protones y neutrones del núcleo de un átomo es mucho mayor que la energía que mantiene unidos los átomos de una molécula; por este motivo, una reacción nuclear libera una cantidad de energía exponencialmente mayor que una reacción química, dada la diferente naturaleza de los enlaces químicos y los enlaces nucleares. Estas razones explican por qué la energía liberada en una reacción nuclear es millones de veces mayor que la liberada por una reacción química.

Así, la energía producida por la Fisión (reacción nuclear) de 1 kg de uranio-235 es equivalente a la energía que se puede obtener de la combustión (reacción química) de aproximadamente 2000 toneladas de petróleo.

Esto de alguna forma se explica, ya que, en una reacción nuclear, la liberación de energía va acompañada de una desaparición de masa. De acuerdo con la ley de equivalencia entre masa y energía planteada por Albert Einstein, y su famosa fórmula $E=MC^2$, donde E es la Energía liberada, M la diferencia o incremento de masa, y C es la velocidad de la luz. La masa se puede transformar en energía y la energía en masa.

Así, cuando en un proceso se pierde masa, esta no desaparece, sino se transforma en energía y una pequeña cantidad de masa es capaz de liberar gran cantidad de energía, ya que la velocidad de la luz al cuadrado tiene una gran magnitud, que, al multiplicarla por la masa, resulta una energía muy grande en comparación con la masa transformada.

Existen algunos átomos muy pesados, en los cuales es posible que el núcleo se pueda dividir en dos partes más pequeñas. Este proceso llamado de “Fisión Nuclear” de acuerdo con los conceptos anteriores libera una enorme cantidad de energía en forma de calor, que puede ser aprovechada en una central termoeléctrica o en una planta de propulsión en un buque.

La primera aplicación práctica de estos conceptos fue la Bomba Atómica, en la cual se liberó una energía de 12 kilotones, equivalente a 12.000 toneladas de explosivos tipo TNT. Esta fue una forma de liberación de energía incontrolada, para que esta sea práctica, en los “Reactores” de las centrales termoeléctricas y plantas de propulsión, este proceso debe ser controlado. El primer “Reactor de Fisión Nuclear” fue construido por el físico italiano Enrico Fermi en 1942.

La obtención de Energía Nuclear es posible mediante dos procesos diferentes: la Fusión Nuclear y la Fisión Nuclear.

7.2.1 Fisión Nuclear

En la naturaleza, los núcleos atómicos son, por lo general, muy estables, pero, si son golpeados por protones o electrones con suficiente energía, pueden romperse. Un elemento no es radiactivo si sus átomos tienen un núcleo muy estable, que no pueda perder, ganar electrones, o unirse o separarse a otros átomos.

Para poder romper el núcleo de un átomo, es necesario golpearlo con una partícula a gran velocidad. Los “aceleradores de protones o electrones” utilizan estas partículas llevadas a velocidades elevadísimas para bombardear y desestabilizar el núcleo del átomo; esta aceleración es lograda mediante un campo eléctrico y guiada por un campo magnético.

El proceso de Fisión Nuclear empleado actualmente en los Reactores de las centrales termoeléctricas y las plantas de propulsión consiste en dividir un átomo pesado como el de Uranio o el Plutonio en dos átomos más ligeros; la suma final de las masas de estos últimos átomos más la de los neutrones desprendidos es menor que la masa del átomo original; la diferencia de estas masas es energía.

Para lograr esto, como mencionamos anteriormente, se bombardean los átomos pesados generando una reacción en cadena controlada que libera energía en forma de calor, la cual es utilizada para generar vapor.

7.2.2 Fusión Nuclear

La Fusión Nuclear es un proceso diferente al de Fisión, en el cual se produce la combinación de dos núcleos atómicos ligeros para formar uno más pesado. Esto produce liberación de energía, la cual corresponde a la diferencia entre la energía

de los enlaces del núcleo pesado producido y la suma de las energías de enlace de los dos núcleos ligeros. La diferencia de masa entre el átomo obtenido y los átomos iniciales es mayor que en la Fisión; por lo tanto, se libera una cantidad de energía muchísimo mayor que en el proceso de Fisión.

Este proceso ocurre de forma natural en estrellas, produciéndose reacciones nucleares de Fusión debido a la elevadísima temperatura de estas, las cuales están compuestas principalmente por Hidrógeno y Helio. La primera reacción de Fusión Nuclear realizada fue la Bomba Termonuclear o también llamada Bomba de Hidrógeno.

La Fusión Nuclear es todavía campo de investigación, debido a que no es un proceso viable, ya que se invierte más energía en el proceso para que se produzca la Fusión, que la energía que se puede obtener.

7.2.3 Reactores Nucleares

Son mecanismos en los que se produce una reacción de “Fisión Nuclear Controlada”, de la cual es posible el aprovechamiento de la energía producida por la rotura de enlaces de los núcleos de los átomos radiactivos. Esta división o Fisión Nuclear se obtiene bombardeando con neutrones los núcleos del elemento. Los neutrones emitidos en cada fisión, una vez reducida su velocidad por medio de una sustancia situada entre los elementos del combustible, denominada moderador, producen el bombardeo de otros núcleos, provocando su fisión y dando lugar así a una reacción en cadena.

Este proceso considera las leyes de probabilidad, de las que depende la posibilidad de que un neutrón libre sea capturado por un núcleo fisionable, antes de salir de la masa activa de combustible; así, garantiza la continuidad de la reacción. En todo reactor, esta masa no puede ser inferior al valor denominado como Masa Crítica, por debajo del cual la reacción en cadena no es posible.

Básicamente, un reactor es un dispositivo constituido por el arrollamiento de un hilo conductor, alrededor de un núcleo magnético (que es el que acelera las partículas del combustible nuclear) y barras que contienen sustancias moderadoras para controlar el proceso.

Desde el punto de vista de su uso, los reactores se clasifican en Reactores de Potencia, que se usan para la producción de energía termoeléctrica y en plantas de propulsión naval, y Reactores Experimentales, utilizados para efectuar estudios, investigaciones y experimentos.

7.2.4 Plantas de Propulsión Naval con Combustible Nuclear

Una Planta de Propulsión Nuclear, como mencionamos anteriormente, es básicamente una planta a vapor con algunas modificaciones. Este tipo de plantas emplea “Reactores

Nucleares”, los cuales desempeñan el mismo papel que las calderas en las Plantas de Vapor tradicionales. En este caso, la “Caldera Nuclear” o combustible nuclear posee un contenido energético específico tan elevado que asegura la operación de la planta por varios años sin requerir cambio o recarga.

Por esta razón, un Reactor Nuclear puede considerarse como un gran depósito de combustible. En cuanto a los demás aspectos, tanto las Plantas a Vapor estudiadas como las instalaciones en las que se emplean Reactores Nucleares son similares, siendo el vapor de agua generado indirectamente a través de intercambiadores de calor, a partir del fluido de refrigeración del reactor.

El fluido que refrigera el núcleo del reactor y retira el calor de este es denominado comúnmente “fluido refrigerante”. Se utiliza en un circuito primario cerrado, ya que esta agua está contaminada y, por lo tanto, no puede entrar en contacto con los demás componentes del sistema, requiriéndose un circuito secundario limpio que intercambie calor con el primario y produzca el vapor que va a trabajar en las turbinas. Este intercambio se verifica en una especie de caldera que es, en realidad, un intercambiador de calor.

Otro aspecto de diferencia con el ciclo tradicional de vapor es que, en el proceso con reactores nucleares, no es posible obtener vapor con características de temperatura y presión muy elevadas; por lo tanto, las turbinas empleadas en estas plantas deben adaptarse a este tipo de vapor.

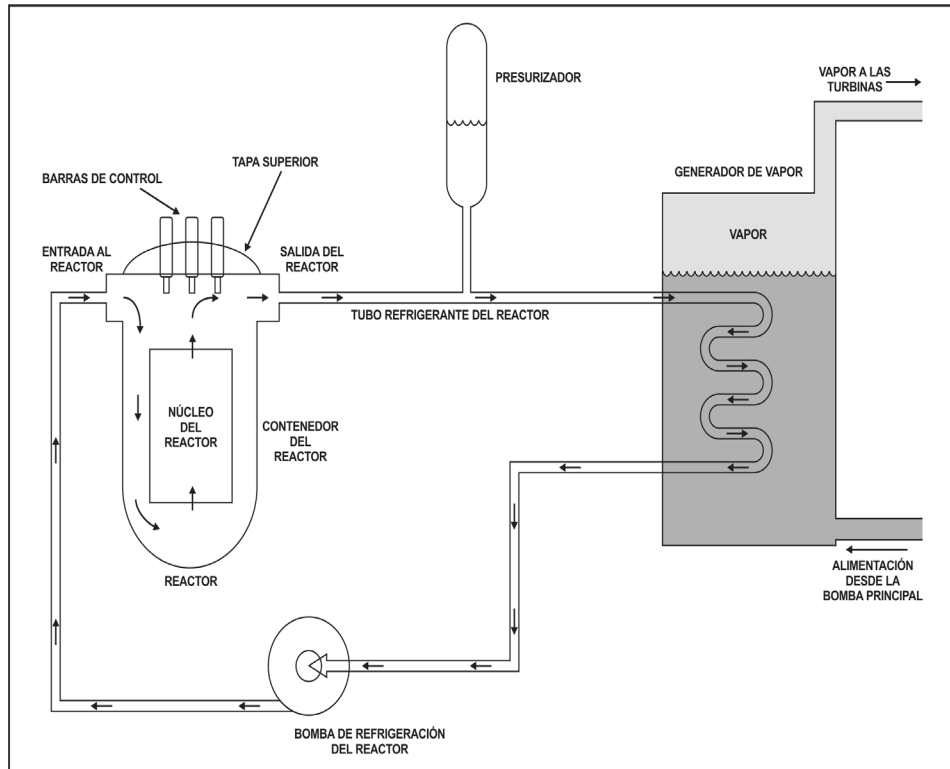
Con relación al control del proceso, se hace por medio de las llamadas “barras de control” elaboradas de material con gran capacidad de absorción de neutrones, las cuales se introducen más o menos en el interior del combustible nuclear; de esta manera, permiten obtener el nivel de potencia deseando. Estas “barras de control” tienen un dispositivo que permite su introducción rápida, en caso de accidente grave para detener de inmediato el funcionamiento del reactor.

Existen varios tipos de reactores, que se utilizan a bordo de Buques de Guerra; sin embargo, el más utilizado es el de “agua a presión” también denominado PWR por sus siglas en inglés (Pressurized Water Reactor), en el cual el núcleo se mantiene a presión, para que el agua no hierva en su interior. Los reactores para propulsión de submarinos suelen ser más pequeños en su diseño y emplean uranio muy enriquecido para que el núcleo pueda ser más compacto.

7.2.5 Componentes de una Planta de Propulsión Nuclear

En general una Planta de Propulsión Nuclear consta de una serie de componentes, los cuales están distribuidos de acuerdo con el siguiente diagrama:

**Diagrama de una Planta de Propulsión Nuclear con
Reactor de Agua a Presión PWR**



Núcleo del Reactor:

Es la parte central del Reactor que contiene el combustible nuclear, el material moderador y el fluido refrigerante.

El combustible nuclear más utilizado en los Reactores de las Plantas de Propulsión Naval es el Uranio-235; este material se encuentra encapsulado con una delgada cobertura de metal, cuya función es evitar el escape de los productos de la fisión hacia la cobertura del Reactor generando posibles puntos de corrosión.

Tanto el moderador como el refrigerante más comúnmente usados en "Reactores Nucleares" es el agua (H_2O), siendo la temperatura referencial del refrigerante de 600°F.

Contenedor y Tapa Superior:

El Contenedor provee la estructura y el soporte del núcleo del reactor. Está diseñado de acero de gran espesor para poder resistir las altas presiones y

temperaturas generadas en su interior. En la parte superior, tiene una tapa removible denominada "Tapa Superior", la cual está asegurada al contenedor con pernos especiales; en esta tapa, se encuentran los alojamientos de las barras de control.

Presurizador:

En los reactores que emplean como refrigerante el agua, no es deseable que esta se evapore produciendo vapor, ya que este afecta el proceso de fisión y, además, produce cavitación en la bomba del refrigerante; por este motivo, se requiere mantenerla a alta presión.

La función del Presurizador es precisamente mantener el agua refrigerante líquida mediante presión para evitar su evaporación. Este elemento consiste en un tanque cilíndrico a alta presión, el cual contiene el agua refrigerante en el fondo y en la parte superior, mantiene una capa de vapor. La presión y temperatura al interior del Presurizador es producida por resistencias eléctricas.

Generador de Vapor:

Básicamente, es un intercambiador de calor en el cual el refrigerante del reactor proporciona la energía calorífica necesaria para transferirla al agua del circuito externo al reactor y transformarla en vapor.

Este intercambiador es generalmente del tipo "tubos y carcaza", en el cual el refrigerante ingresa por el fondo a través de unos tubos en forma de U y el vapor generado sale por la parte superior luego de pasar por unos deflectores y separadores de agua que reducen su humedad antes de ser enviado a las turbinas.

Bomba del Fluido Refrigerante:

Es una Bomba que tiene la función de hacer recircular el refrigerante por el circuito interno del Reactor.

Cobertura de Protección:

Esta Cobertura tiene la función de reducir los niveles de radiación dentro del compartimiento del Reactor y, por otra parte, prevenir la interferencia con el funcionamiento de otros equipos e instrumentos y proteger a la tripulación fuera de este compartimiento manteniendo controlados los niveles de radiación a bordo.

Esta Cobertura en los buques con Plantas de Propulsión Nuclear es bastante extensa, y contribuye en gran medida al peso y al volumen de la Planta de Propulsión.

CAPÍTULO 8

PLANTAS DE PROPULSIÓN HÍBRIDAS O COMBINADAS

8.1 Plantas Combinadas

Como se ha explicado en los capítulos precedentes, existen diferentes formas y diferentes tipos de máquinas capaces de proporcionar la potencia necesaria para el desplazamiento de buques; así, tenemos Turbinas a Vapor, Motores Diésel, Turbinas a Gas y plantas Diésel-eléctricas en submarinos. Cada una de estas plantas tiene ciertas ventajas, pero también algunas desventajas en relación con su eficiencia, operación y mantenimiento como sistemas de propulsión en Buques de Guerra.

La combinación de estos diferentes tipos de máquinas en una misma planta, en disposiciones que permitan su uso secuencial o simultáneo, a bordo de un buque, se denomina Plantas Combinadas o Plantas Híbridas.

Este tipo de plantas representa una ingeniosa forma para aumentar o mejorar las ventajas y al mismo tiempo reducir las desventajas de cada planta individual con el correspondiente incremento de eficiencia en todos los rangos de velocidad y potencia; por ello, su uso como sistemas de propulsión es la solución más empleada actualmente por los diseñadores navales.

En este capítulo, nos ocuparemos en describir las diferentes configuraciones de Motores Diésel, Turbinas a Gas, Turbinas a Vapor y Motores Eléctricos, en disposiciones de Plantas Combinadas diseñadas para propulsar Buques de Guerra, destacando sus particularidades y sus ventajas de acuerdo con los requerimientos dados en relación con las funciones que deben cumplir como sistemas de propulsión.

Estas plantas tienen una nomenclatura especial para su denominación, que corresponde a un acrónimo en inglés compuesto por letras con las cuales se establece el tipo de propulsión empleado y si estos sistemas pueden usarse simultáneamente o secuencialmente. Como ejemplo:

Una planta denominada CODAG: Es una combinación de Motores Diésel y Turbinas a Gas que pueden ser usados simultáneamente (A) sumando sus potencias para la propulsión del buque.

Una planta denominada CODOG: Es una combinación de Motores Diésel y Turbinas a Gas que solo pueden ser usados secuencialmente (O), es decir, uno a la vez; en este caso, los diésel son empleados para velocidades de maniobra y crucero y las turbinas para altas velocidades.

CO	Combinación de
D	Motores Diésel
A/O	Y/O
G	Turbinas a Gas

8.1.1 Finalidad de las Plantas Combinadas

El propósito de emplear los distintos tipos de propulsión disponibles en Plantas Combinadas es lograr mejorar la eficiencia de operación en todos los rangos de velocidad. Para velocidades de crucero con el uso de motores más pequeños y eficientes, pero manteniendo con el uso de motores de mayor potencia la capacidad de operar eficientemente a altas velocidades. Este tipo de Plantas de Propulsión brinda mayor versatilidad, flexibilidad y economía en la operación de los buques.

Teniendo en cuenta que los requerimientos operacionales actuales de los buques de línea de las flotas de combate determinan que solo un 5% de su vida útil operan a máxima velocidad, mantener plantas diseñadas para desarrollar altas potencias hace que la eficiencia de estas al ser empleadas para velocidades medias no sea la mejor.

Estas condiciones de operación hacen necesario desarrollar sistemas combinados que optimicen su uso en función de los requerimientos operacionales actuales. De acuerdo con estudios realizados por organizaciones especializadas considerando no solo el costo de la instalación sino también los costos de mantenimiento y operación, el sistema combinado más eficiente para destructores y fragatas son las plantas tipo CODAG cruzadas, CODAG-WARP y los sistemas CODLAG, pero limitadas de 26 a 28 nudos de velocidad máxima.

La selección de una planta propulsora depende finalmente de los requerimientos operativos del buque. Para buques de guerra, las plantas más empleadas son las tipo CODAD, CODOG, COGOG, CODAG-WARP y más recientemente las nuevas plantas CODLAG ya mencionadas.

8.1.2 Tipos de Plantas de Propulsión Combinadas

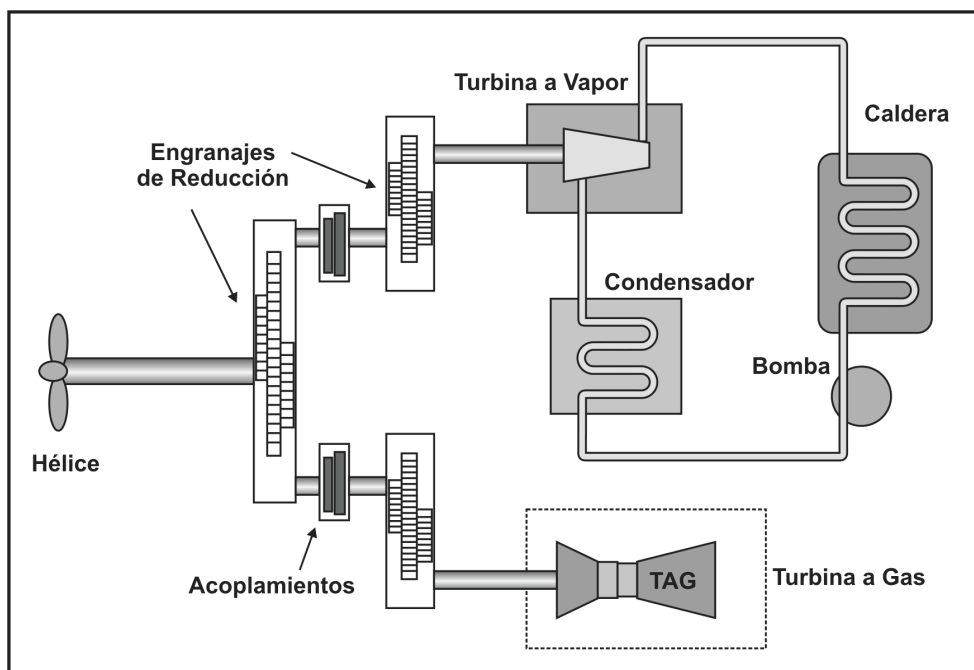
Existe una gran variedad de combinaciones posibles con los diferentes tipos de máquinas, disponibles para propulsión naval. Los tipos de Plantas Combinadas de mayor uso actualmente son los siguientes:

Plantas Combinadas de Turbinas a Vapor y Turbinas a Gas (COSAG)

Este sistema de propulsión consiste en una combinación de Turbinas de Vapor y Turbinas de Gas para dar potencia a los ejes de propulsión, lo cual requiere la instalación de dispositivos de reducción, acoplamiento y embragues que permitan que estas turbinas propulsen el buque individualmente o de manera conjunta.

El sistema COSAG reúne las ventajas de la eficiencia a velocidades de crucero y la confiabilidad que proporciona una Planta a Vapor, y la rápida aceleración, arranque instantáneo y buena relación Peso/Potencia de las Turbinas a Gas. Este tipo de Plantas Combinadas fue utilizado en la primera generación de buques con Turbinas a Gas.

Planta de Propulsión COSAG

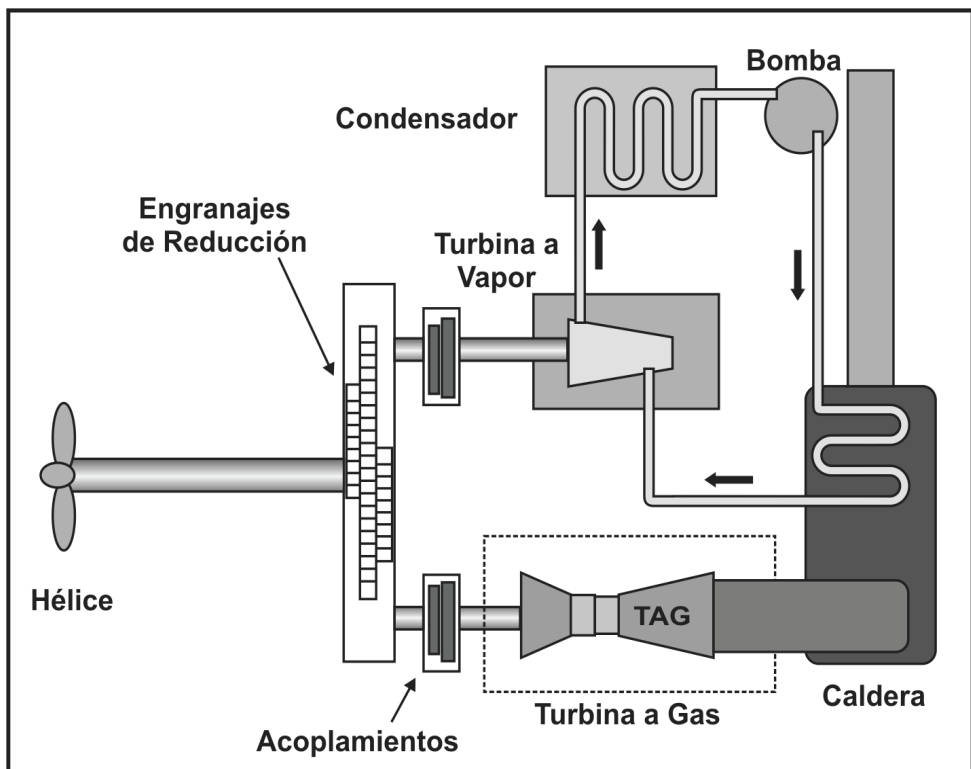


Plantas Combinadas de Turbinas a Gas y Turbinas a Vapor de Ciclo Combinado (COGAS)

Estos sistemas de propulsión emplean el denominado Ciclo Combinado. Este consiste en el empleo de Turbinas a Gas y Turbinas de Vapor, en el que las Turbinas a Vapor son alimentadas con el vapor generado por el calor de los gases de escape producidos por las Turbinas a Gas, que es aprovechado en un intercambiador de calor. Esta es una forma de utilizar la energía que, de otro modo, se perdería, disminuyendo el consumo específico de combustible y mejorando la eficiencia del sistema de propulsión en general.

Actualmente, no es muy utilizado en buques de guerra, aunque el uso del Ciclo Combinado está ampliamente difundido para centrales de generación eléctrica. En estos sistemas, es posible el funcionamiento individual de las turbinas, aunque esta forma de operar limita la principal ventaja del sistema siendo menos eficiente.

Planta de Propulsión COGAS



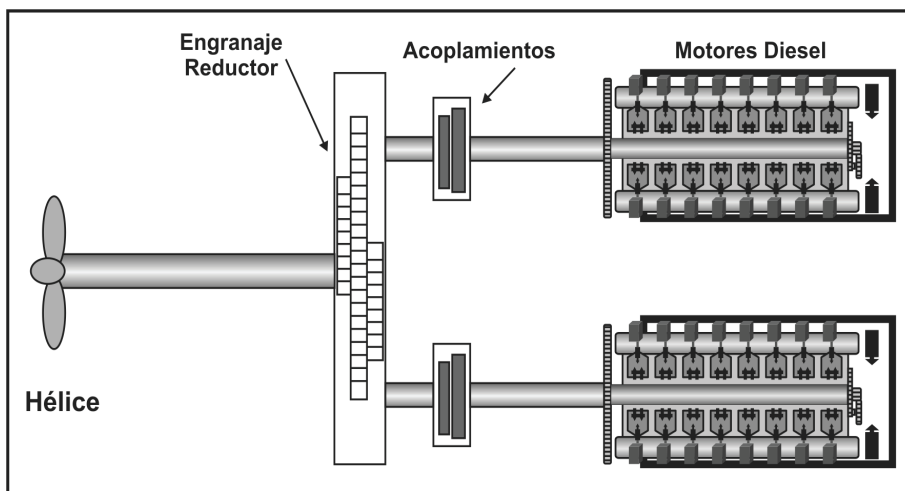
Plantas Combinadas de Motores Diésel y Motores Diésel (CODAD)

Este sistema de propulsión utiliza dos Motores Diésel para suministrar potencia a un solo eje de propulsión mediante sistemas de transmisión y embragues que permiten su acoplamiento individualmente o los dos a la vez con la finalidad de incrementar la potencia cuando se requiere mayores velocidades.

Este sistema tiene la ventaja de tener motores más pequeños que reducen el consumo de combustible cuando se requieren velocidades menores.

Los sistemas de propulsión que constan de un Motor Diésel acoplado individualmente a un eje de propulsión no se consideran en esta categoría, ya que, en estos casos, no se puede incrementar la potencia de propulsión conectando un motor adicional al eje para altas velocidades, aunque esto, de alguna manera, se puede lograr en algunos sistemas dejando sin potencia a un eje de propulsión.

Planta de Propulsión CODAD

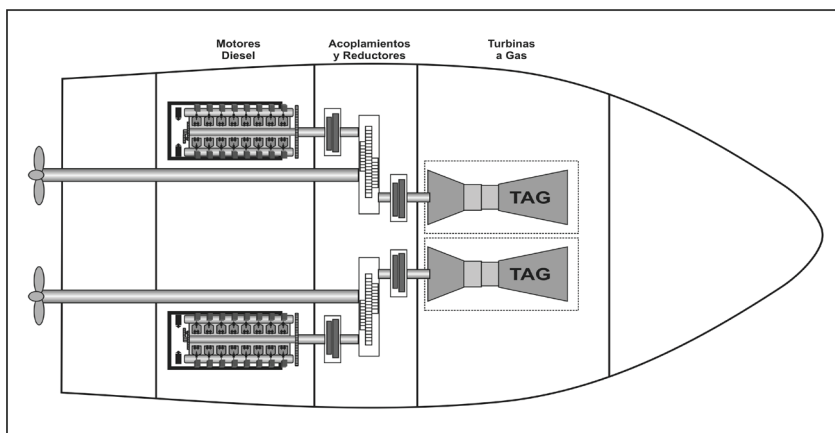


Plantas Combinadas de Motores Diésel o Turbinas a Gas (CODOG)

Este tipo de Plantas de Propulsión consiste en dos Motores Diésel y dos Turbinas a Gas unidos mecánicamente a dos ejes de propulsión independientes mediante acoplamientos y reducción mecánica, es decir, un motor y una turbina por cada eje, pero, en este caso, ambos no pueden utilizarse simultáneamente, sino uno a la vez. Este sistema emplea los Motores Diésel para propulsar al buque a velocidades de crucero y maniobra; cuando se requieren mayores velocidades, se pone en servicio la turbina y se desacoplan los motores.

La ventaja de esta planta es una transmisión más simple, pero requiere Turbinas a Gas más potentes para la misma potencia. Su consumo de combustible es mayor comparado con una planta CODAG. Este tipo de Plantas Combinadas son generalmente diseñadas para buques que requieren velocidades máximas significativamente más elevadas que sus velocidades de crucero, como es el caso de Fragatas, Destruyores y Corbetas. Las Plantas de Propulsión de las Fragatas Clase “Cerbajal” en servicio en nuestra escuadra son de este tipo.

Planta de Propulsión CODOG



Plantas Combinadas de Motores Diésel y Turbinas a Gas (CODAG)

En estas plantas, se combinan Motores Diésel y Turbinas de Gas. Los motores se usan para velocidades de crucero; pero, cuando se requieren mayores velocidades, es posible incrementar la potencia poniendo en servicio la turbina de manera simultánea a los motores.

La diferencia de potencia entre los Motores Diésel solos y cuando están en servicio ambos diésel y turbina es tan grande en estas disposiciones, que se requieren hélices de paso variable para limitar las revoluciones, de modo que los diésel puedan continuar operando sin cambiar las relaciones de engranajes de sus transmisiones; este es el motivo por el cual estos sistemas requieren transmisiones y reductores más complejos a diferencia de los sistemas CODOG, que acoplan los diésel a los ejes de propulsión con transmisiones simples de relaciones fijas.

Este sistema de propulsión tiene una mejor relación de Peso/Potencia y ocupa menos espacio que un sistema equivalente de Motores Diésel, ya que se pueden emplear motores más pequeños y, como sabemos, la Turbina a Gas y sus transmisiones son muy compactas, por lo que requieren poco espacio adicional.

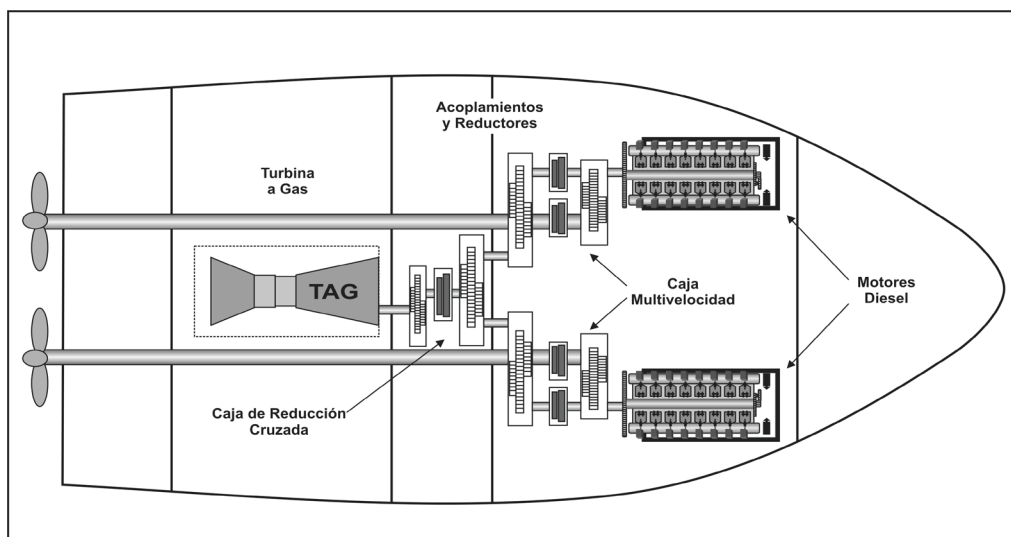
Estas plantas aprovechan la alta eficiencia en el uso del combustible de los Motores Diésel para velocidades de crucero (hasta 20 nudos) permitiendo mayor autonomía y menores costos de operación que sistemas basados en Turbinas a Gas únicamente. Pero, como vimos anteriormente, requieren sistema de transmisión más complejos y pesados.

Existen algunas variaciones al sistema CODAG antes descrito, en las cuales los Motores Diésel y la Turbina a Gas tienen cada uno ejes y hélices independientes para evitar el uso de transmisiones complejas con las limitaciones respectivas; pero también tienen ciertas desventajas, ya que deben usarse más hélices, menos eficientes que pueden causar turbulencia y fuerzas laterales cuando están siendo arrastradas.

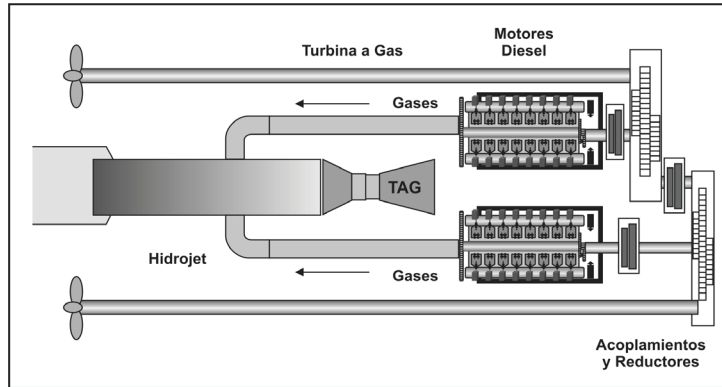
Una variación adicional desarrollada por el constructor Blohm + Voss para sus buques de la línea MEKO es la denominada CODAG WARP (CODAG Water jet and Refined Propeller), es decir, un sistema CODAG con hidrojet y una hélice como propulsores. Este sistema consta de dos Motores Diésel en disposición CODAG; es decir, ambos ejes de propulsión pueden ser movidos por cualquiera de los motores y un hidrojet propulsado por la Turbina a Gas. Este sistema tiene la ventaja de que, cuando el hidrojet no está operando, no causa turbulencia y no afecta el tamaño de las hélices.

Esta variación evita los problemas de los sistemas CODAG simples derivados de los sistemas de acople y reducción.

Planta de Propulsión CODAG



Planta de Propulsión CODAG WARP

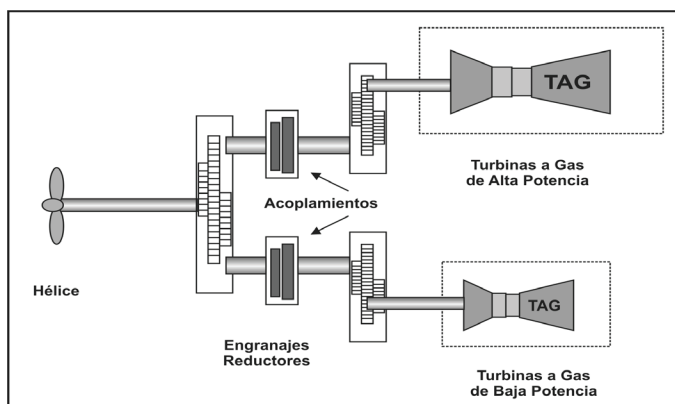


Combinación de Turbinas a Gas o Turbinas a Gas (COGOG)

En este sistema de propulsión, se emplean únicamente Turbinas a Gas para la obtención de energía: una turbina de baja potencia y alta eficiencia para velocidades de crucero, y una de mayor potencia y eficiencia a altas velocidades para cuando el buque requiera mayor velocidad. Este sistema incluye acoplamientos y embragues que posibiliten la selección de una de las dos turbinas, pero no su uso de manera simultánea.

La principal ventaja de este tipo de Planta Combinada es el uso de sistemas compactos basados en Turbinas a Gas conservando una excelente relación de Peso/Potencia que adicionalmente no requiere el uso de cajas de transmisión pesadas, complejas que puedan ser fuente de fallas o averías; es decir, privilegia la simplicidad en el diseño de la planta.

Planta de Propulsión COGOG



Plantas Combinadas de Motores Diésel-Eléctricos y Turbinas a Gas (CODLAG)

Una de las más modernas Plantas Combinadas en ser incorporadas a los sistemas de propulsión de Buques de Guerra es el sistema CODLAG. Este consiste en dos motores eléctricos conectados a dos ejes de propulsión, los cuales son alimentados por energía eléctrica producida por generadores muy similares a los Grupos-electrógenos. Estos motores proporcionan al buque la potencia necesaria para navegar a velocidades de maniobra o cuando el buque requiere reducir vibraciones en el casco. Cuando se requieren mayores velocidades, una Turbina a Gas que forma parte del sistema y está conectada mediante una caja de reducción cruzada es puesta en servicio e incrementa la potencia.

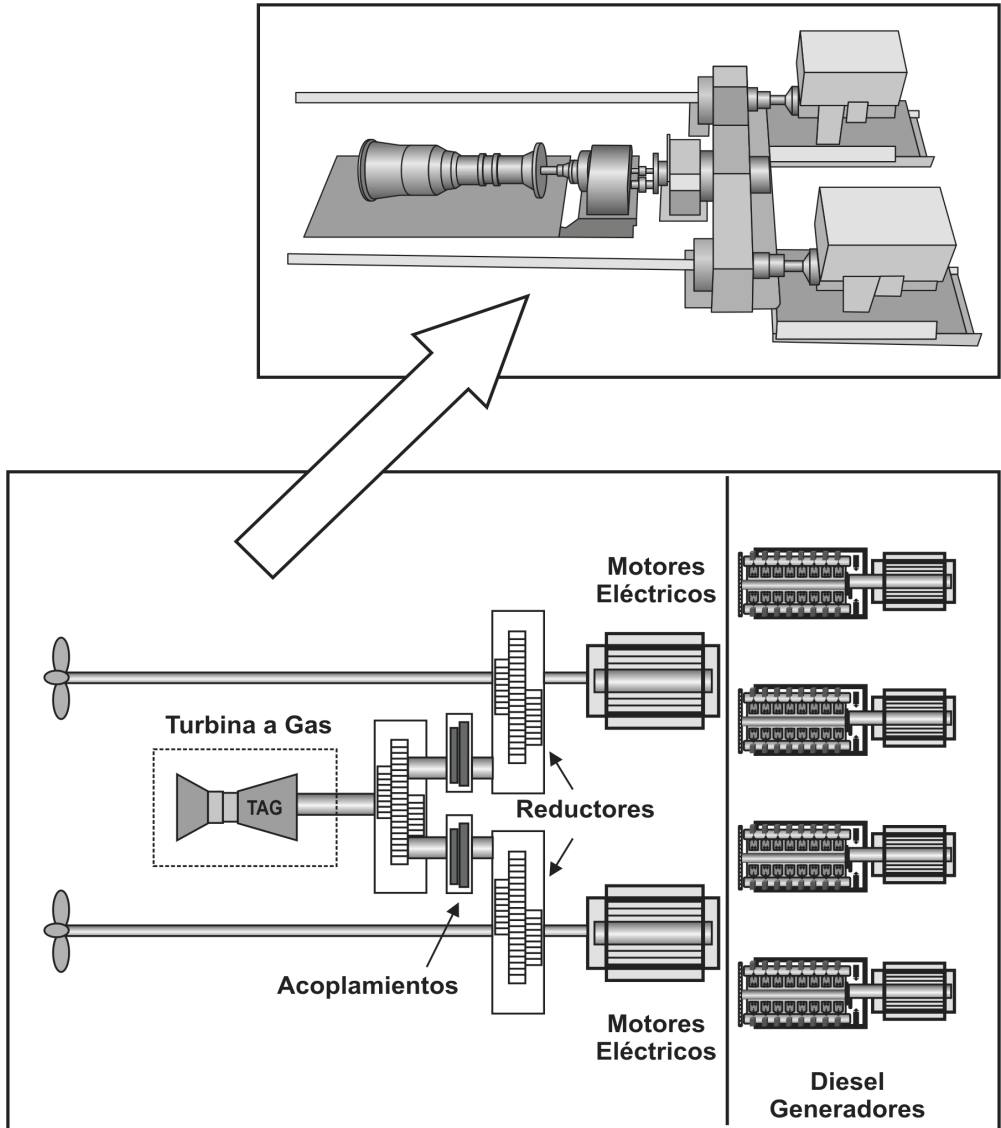
Este sistema tiene significativas ventajas en relación con otros tipos de Plantas de Propulsión, debido a que se reducen los costos de operación, ya que se disminuye el número de Motores Diésel en servicio a bordo, pues los mismos motores son usados para la propulsión y para el suministro eléctrico del buque.

Adicionalmente, los motores eléctricos son eficientes en un rango mucho mayor de velocidades y pueden estar conectados directamente a los ejes de propulsión sin requerir de cajas de reducción. Por otra parte, requieren mucho de actividades de mantenimiento menos frecuentes y bastante más simples.

Otra ventaja del sistema Diésel-eléctrico es que los motores eléctricos pueden estar ubicados muy a popa del buque, lo cual posibilita que los ejes de propulsión sean más cortos y, al no ser necesaria una conexión mecánica, los Generadores-diésel pueden ser desacoplados acústicamente del casco del buque, haciendo menos ruidoso el funcionamiento del sistema cuando la turbina está desacoplada. Este principio ha sido extensamente usado en submarinos, pero también tiene aplicación para buques de superficie, especialmente aquellos especializados en guerra-antisubmarina.

Generalmente, este sistema incluye bancos de baterías recargables como en los submarinos con plantas Diésel-eléctricas, cuya función es permitir al buque maniobrar sin tener en funcionamiento motores ruidosos.

Plantas de Propulsión CODLAG



8.2 Comparación de Plantas de Propulsión

Como se ha desarrollado secuencialmente a lo largo de los capítulos anteriores, cada forma de transformar la energía en trabajo mecánico en una planta de propulsión tiene factores a favor o en contra, lo cual determina ciertas ventajas en unos casos, pero también presenta desventajas.

Las Plantas Combinadas, como se ha explicado, de alguna manera mejoran las posibilidades individuales de cada tipo de máquina o motor utilizado en una instalación propulsora y brindan soluciones más eficientes, orientando las capacidades de las plantas a los requerimientos operacionales del buque. A continuación, se presenta a manera de resumen un cuadro comparativo de características de los principales Sistemas de Propulsión Naval disponibles.

Cuadro Comparativo de Características de los Principales Sistemas de Propulsión Naval

	Plantas con Mot. Diésel	Plantas a Vapor	Plantas con TAG	Plantas Nucleares
Relación Peso/Pot. (lbs/HP)	3	15	0.28	35
Costo de Instalación	\$90/BHP	\$170/BHP	\$120/BHP	\$255/BHP
Consumo Específico de combustible (lbs/hr-SHP)	0.3-0.42	0.45-0.55	0.41-0.8	No Aplicable
Consumo Específico de combustible (Máxima velocidad)	0.34	0.55	0.41	No Aplicable
Tiempo requerido para poner en servicio la planta Hrs.	4	8-10	0.1	4
Comentarios	Límite máx. de Potencia: 60,000 SHP 20,000 SHP	Capacidad máx. de Potencia: 280,000-SHP por eje	Muy ligera y compacta	Alto costo inicial de instalación bajo costo de operación

GLOSARIO

GLOSARIO BIOGRÁFICO

Bernoulli, Daniel;

Matemático suizo, nacido el año de 1700. En 1725 junto con su hermano Nicolás fueron invitados a trabajar en la “Academia de Ciencias de San Petersburgo”, donde colaboró con Euler. Su trabajo más importante fue desarrollado en el campo de la hidrodinámica acerca del flujo de un fluido, la presión, la densidad y la velocidad, planteando su relación fundamental conocida hoy como: “El Principio de Bernoulli”. También estableció la base de la teoría cinética de los gases y realizó trabajos sobre magnetismo, corrientes del océano y el comportamiento de una embarcación en el mar.

Brayton, George Bailey;

Ingeniero estadounidense nacido en 1830, propuso el ciclo termodinámico de las actuales turbinas a gas.

Carnot, Nicholas Leonard Sadi:

Físico francés, nació en 1776. Estudió en la Escuela Politécnica, en 1824 planteó su concepción del motor ideal, llamado “Motor de Carnot”; Motor ideal capaz de utilizar toda la energía disponible. Descubrió además que el calor no puede ir de un cuerpo más frío a uno más caliente, y que la eficiencia de un motor depende de la cantidad de calor que es capaz de utilizar. Este descubrimiento fue la base para el planteamiento de la segunda ley de la termodinámica.

De Laval, Guatav;

Ingeniero sueco nacido en la ciudad de Orsa en 1845. Fue el inventor de una tobera convergente-divergente para la expansión de gases y vapores y de la turbina de vapor que lleva su nombre, realizó también investigaciones en el campo de la metalurgia.

Diésel, Rudolf Christian Karl;

Ingeniero alemán, nació en 1858. Estuvo interesado en el desarrollo de un motor de combustión interna cuyo rendimiento energético se aproximara lo máximo posible al rendimiento teórico del motor ideal propuesto por Carnot. En 1890, concibió la idea que a la postre se traduciría en el motor que lleva su nombre y en 1892 obtuvo la patente alemana de su diseño, posteriormente publicó, con el título “Theorie und Konstruktion eines rationellen Wäremotors”, una detallada descripción de su motor. Con el patrocinio de la Maschinenfabrik Augsburg y de las industrias Krupp, Diésel produjo una serie de modelos cada vez más eficientes que culminó finalmente con la presentación de un motor de cuatro tiempos capaz de desarrollar una potencia de 25 HP.

Dupuy de Lôme, Stanislas Charles Henri;

Nació en Ploemer, (Lorient-Francia) el 5 de octubre de 1816. Fue un arquitecto naval francés, hijo de un oficial de la marina. Estudió en la Escuela Politécnica y al terminar su formación profesional, viajó a Inglaterra continuando estudios sobre construcción de buques con casco de acero y navegación a vapor. Escribió un ensayo, publicado bajo el título de “Mémoire sur la Construction des Batiments en Fer”. Propuso cambios radicales en la construcción y propulsión de buques y en 1847 fue premiado con el encargo de diseñar “Le Napoléon”, que sería el primer buque de guerra a vapor impulsado por una hélice.

Einstein Albert;

Físico alemán nacido en la ciudad de Ulm (Bavaria) en 1879. Nacionalizado suizo primero y posteriormente estadounidense, es uno de los científicos más conocidos y populares del siglo XX, dedujo la expresión matemática de la equivalencia masa-energía, $E=mc^2$, la ecuación de la física más conocida a nivel popular. Publicó también trabajos que sentarían las bases de la física estadística y la mecánica cuántica. En 1915 presentó la Teoría General de la Relatividad, en la que reformuló por completo el concepto de gravedad. Obtuvo el Premio Nobel de Física en 1921 por su explicación del efecto fotoeléctrico y sus numerosas contribuciones a la física.

Fischer, John;

Sir John Fischer, nació en Gran Bretaña en 1841, nombrado “Almirante de la flota” en 1905, fue el creador del Dreadnought y del crucero de batalla y el primero en advertir al gobierno británico de la superioridad de las construcciones navales alemanas en general. Llegó a pedir que Gran Bretaña atacara a Alemania y hundiera su flota para impedir que estos igualaran el número de naves británicas, ya que Fischer opinaba que cuando la “Hochseeflotte” (Flota de Alta mar alemana) consiguiera igualar en número a la “Royal Navy” podrían ganar la guerra sin problemas.

Fulton, Robert;

Ingeniero e inventor estadounidense nacido en 1765. Inventó y patentó el primer buque de propulsión a vapor comercialmente viable, además diseñó el primer buque de guerra impulsado a vapor, bautizado finalmente "Fulton the First", en su honor.

Jouffroy, Claude-François;

Conocido como Claude-François, marqués de Jouffroy d'Abbans, nacido en Roches-sur-Rognon, en 1751, fue un Ingeniero francés que desarrolló diversos métodos para la aplicación del vapor a la navegación. Construyó, un buque movido por ruedas de paletas al que denominó "Piróscafo".

Newton, Isaac;

Científico inglés, nacido en Lincolnshire en 1642 estudió en la Universidad de Cambridge, donde tuvo que trabajar para pagarse los estudios, asimilando los conocimientos y principios científicos de la época, con las innovaciones introducidas por Galileo, Descartes, Kepler entre otros. Después de su graduación en 1665, Newton se orientó hacia la investigación en física y matemáticas, formulando a los 29 años de edad las teorías que señalarían el camino de la ciencia moderna hasta nuestros días.

Otto, Nikolaus August;

Inventor alemán nacido en Holzhausen en 1832, co-inventor del motor de combustión interna, inició su carrera profesional como comerciante, aunque pronto la abandonó para dedicarse a la fabricación de motores de combustión interna. A pesar de no tener una formación técnica, Otto fabricó su primera máquina en 1861, años más tarde abrió una fábrica en Deutz, cerca de Colonia. Realizó notables estudios sobre el motor de gas y en 1876 llevó a la práctica la construcción de un motor de combustión interna de cuatro tiempos, creando la máquina motriz estática a partir de la cual desarrollaría el motor Otto. Este motor sirvió como base para la creación del motor diésel.

Parsons, Charles;

Ingeniero británico, nacido en Londres en 1854, inventó y perfeccionó la turbina de vapor. En el año 1884, dio a conocer su revolucionario invento, la turbina de vapor Parsons, el año 1894 comenzó la construcción de un barco mediano, al que bautizó con el nombre de "Turbinia", con un peso total de 42 toneladas, al que instaló su turbina bastante perfeccionada, alcanzando la increíble velocidad de 34.5 nudos.

Rankine, William John;

Ingeniero y físico británico, nació en 1820. Se dedicó al estudio de las leyes de la termodinámica, publicando en 1859 el "Manual of the Steam Engine". Desarrolló analíticamente lo complejo de las transformaciones del vapor en las máquinas térmicas,

y estableció el ciclo termodinámico del vapor, denominado “Ciclo Rankine”. Contribuyó con sus planteamientos a dar una orientación moderna a la ingeniería mecánica, sistematizando métodos y hábitos de trabajo.

Stevens, John;

Industrial e inventor estadounidense nacido en 1749, combatió en la guerra de la Independencia de su país. Realizó desde 1787 experimentos sobre la navegación a vapor, logrando la patente en 1791 de la primera caldera multitubular y la construcción en 1802 del “Phoenix”, el primer buque con propulsor de hélices. Se interesó después en la aplicación del vapor a los transportes terrestres; en el año 1825 construyó la primera locomotora norteamericana.

Watt, James;

Ingeniero escocés nacido en 1736, estudió en la Universidad de Glasgow y en la de Londres, tuvo la oportunidad de entrar en contacto con muchos científicos, interesándose por el concepto de “calor latente”. Observó que las máquinas de la época desaprovechaban gran cantidad de vapor, el cual podría ser transformado en trabajo mecánico. En 1766 diseñó un condensador separado del cilindro, lo cual permitió aprovechar mejor el vapor, y elevar el rendimiento económico de la máquina.

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Achaflanado: Borde de una pieza metálica cortada en ángulo.

Agua de máquinas: Agua con características específicas de dureza, alcalinidad y concentración de sólidos en suspensión utilizada como fluido de trabajo en plantas de propulsión a vapor.

Aislamiento eléctrico: Es el recubrimiento con materiales no conductores de la electricidad de un elemento componente en una instalación eléctrica, con la finalidad de mantener la corriente dentro de su conductor; Este aislamiento se da principalmente entre los cables componentes de las bobinas de un motor o generador eléctrico.

Armadura o rotor: Parte central de un motor eléctrico, que genera el movimiento, y consiste en un electroimán que puede girar libremente entorno a un eje. Dicho rotor está rodeado por un imán permanente, cuyo campo magnético permanece fijo. El electroimán recibe la corriente a través del contacto establecido entre las escobillas y el conmutador. Las escobillas permanecen fijas, mientras que el conmutador puede girar libremente entre ellas siguiendo el movimiento del rotor.

Asientos de válvula: Junto con las válvulas constituyen un conjunto con el cual se logra la estanqueidad de la cámara de combustión. Deben poseer resistencia al desgaste y a la oxidación a altas temperaturas, además una buena conductividad térmica ya que el calor absorbido por las válvulas de escape se evacua a través de su asiento. Generalmente se construyen de fundición de hierro o aceros, aleados con cromo, níquel o molibdeno para incrementar su resistencia al desgaste y a la corrosión en caliente, además de efectuárseles tratamiento térmico de endurecimiento para incrementar su resistencia al desgaste

Autonomía: Tiempo o distancia que un buque puede permanecer alejado de su base, o de suministro logístico efectuando operaciones efectivas. Depende principalmente del consumo y capacidad de almacenamiento de víveres, combustibles y munición.

Bauprés: Palo grueso ubicado en proa de una embarcación, en posición casi horizontal con la finalidad de afirmar en las velas triangulares denominadas estays o cebaderas.

Bobina: También conocidas como inductores, es un elemento formado por espiras de alambre conductor arrollado, que almacena energía en forma de campo magnético. Son partes componentes de todo motor o generador eléctrico.

Calor: Forma de energía en tránsito que ocurre cuando dos cuerpos a distinta temperatura se ponen en contacto.

Calor de combustión: Cantidad de energía térmica liberada cuando se quema una cantidad específica de una sustancia.

Cámara de combustión: Lugar donde se realiza la combustión. Espacio que queda entre la culata y el pistón en un motor alternativo, donde entra el aire y el combustible necesarios para la combustión.

Carcaza: Cobertura o envolvente de una máquina que tiene la finalidad de protegerla del ambiente.

Carrera del pistón: Es la distancia entre el Punto Muerto Superior (PMS) y el punto Muerto Inferior (PMI), es igual, salvo raras excepciones, al doble del radio de la manivela del eje cigüeñal, se mide en milímetros (mm).

Cavitación: Formación de burbujas de vapor o de aire dentro de un líquido, causadas por las variaciones que este experimenta en su presión. Efecto hidrodinámico que se produce cuando el agua o cualquier otro fluido en estado líquido pasa a gran velocidad por un borde afilado, produciéndose una descompresión del fluido debido al “Principio de Bernoulli”, ocasionando que se alcance la presión de vapor del líquido y que las moléculas se transformen inmediatamente a estado de vapor, formando burbujas o cavidades, produciendo una estela y un desprendimiento del metal de la superficie que origina este fenómeno.

Cebar: Preparar convenientemente o poner una máquina o un aparato en condiciones de empezar a funcionar, por ejemplo manteniendo líquido en la línea de una bomba de agua.

Compresión: Disminución del volumen de un cuerpo por efecto del aumento de la presión que se ejerce sobre él o de la disminución de la temperatura.

Compresores: Dispositivos útiles para aumentar la presión de un fluido (generalmente aire). El trabajo necesario para su funcionamiento es considerado negativo dentro del sistema.

Conducción: Proceso de transferencia de calor, en el cual este, se transmite de una parte a otra de la sustancia por efecto de la vibración molecular. Este proceso se da en sólidos, líquidos, gases y entre los cuerpos en contacto unos con otros.

Convección: Proceso de transferencia de calor que considera que cuando un fluido se calienta, se expande y disminuye su densidad, por lo tanto el fluido más frío y pesado tiende a caer y desplazar al fluido más caliente hacia arriba, generándose una circulación que facilita el intercambio de calor.

Cualidad de ignición: Es una de las más importantes propiedades de un combustible para motores Ciclo Diésel. Se expresa mediante un índice denominado: "Número de Cetano". La cualidad de ignición de un combustible determina no sólo la facilidad de ignición y el arranque de motores fríos, sino también la clase de combustión obtenida del combustible, un más rápido calentamiento y una operación más suave y silenciosa, presiones máximas más bajas en el cilindro y una combustión más eficiente con menor consumo de combustible.

Desplazamiento: Es el volumen y peso del agua desalojada por una embarcación igual al espacio que ocupa en el agua su casco sumergido, basado en el "Principio de Arquímedes". Se usan como unidades para la medición del desplazamiento en buques las Toneladas.

Diámetro del Cilindro: Es el diámetro interior del cilindro, se mide generalmente en milímetros.

Ecuación de Continuidad: La ecuación de continuidad o conservación de masa es una herramienta útil para el análisis de fluidos que fluyen a través de ductos con diámetro variable.

En estos casos, la velocidad y la presión del flujo cambia debido a que el área transversal varía de una sección del ducto a otra. Si se considera un fluido con un flujo estable a través de un volumen fijo como un tanque con una entrada y una salida, la razón con la cual el fluido entra en el volumen debe ser igual a la razón con la que el fluido sale del volumen para que se cumpla el principio fundamental de conservación de masa.

Entalpía: Es la cantidad de energía que un sistema termodinámico puede intercambiar con su entorno; Es una magnitud que expresa de alguna forma la cantidad de energía absorbida o cedida por el sistema. En un cambio de fase, por ejemplo de líquido a gas, el cambio de entalpía del sistema es el calor latente, en este caso el de vaporización.

El término entalpía fue introducido por el físico alemán Rudolf Clausius en 1850. Matemáticamente, la entalpía "H" es igual a $U + pV$, donde U es la energía interna, p es la presión y V es el volumen. H se mide en julios en el sistema internacional.

La entalpía total de un sistema no puede ser medida directamente, pero la variación de entalpía del sistema sí, ya que el cambio de entalpía del sistema causado por un proceso llevado a cabo a presión constante, es igual al calor absorbido por el sistema durante dicho proceso.

Entropía: Es una magnitud que mide la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Puede definirse como el grado de desorden que poseen las moléculas que integran un cuerpo, o como el grado de irreversibilidad alcanzada después de un proceso que implique transformación de energía.

Electrodo: Componente de un circuito eléctrico que conecta el circuito a un medio conductor denominado electrolito. En los procesos de electrólisis; son conductores metálicos sumergidos dentro del electrolito.

Electrólisis: Es un proceso electroquímico que trata de la relación entre las corrientes eléctricas y las reacciones químicas, y de la conversión de la energía química en eléctrica y viceversa. Consiste en la descomposición mediante una corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolito.

La electrolisis en general es el estudio de las reacciones químicas que producen efectos eléctricos y los fenómenos químicos causados por la acción de las corrientes o voltajes. La cantidad de material que se deposita en cada electrodo al pasar la corriente por un electrolito sigue la “ley de Faraday”.

Electrolito: Es toda sustancia iónica que en solución se descompone al pasar por el una corriente eléctrica.

Estela: Rastro de espuma y agua removida que dejan en el agua los buques a su paso. En el caso de buques impulsados por hélices, la corriente de expulsión de estas, se suma al efecto de la estela propiamente dicha.

Espandadores: Instrumentos utilizados para ensamblar tubos generadores de vapor, expandiendo sus bordes de manera que queden asegurados en los orificios maquinados en los colectores y cabezales de agua de una caldera. En general son herramientas cuya finalidad es expandir los bordes de tuberías.

Expansión: Aumento del volumen de un cuerpo por efecto del incremento de la temperatura o la disminución de la presión.

Extracción de fondo: Purga o extracción de agua de una caldera que se efectúa en la parte inferior de los cabezales de agua con la finalidad de extraer los depósitos sólidos o lodos. Esta acción reduce la concentración de sales del agua y generalmente se efectúa antes de la puesta en servicio de la caldera.

Extracción de superficie: Purga o extracción de agua de una caldera que se efectúa en la parte superior del colector de vapor con la finalidad de extraer espumas u otros contaminantes que por diferencia de densidades se depositan en la superficie del agua. Esta acción generalmente se efectúa antes de la puesta en servicio de la caldera.

Hélices arrastadas: Se denomina con este término cuando las hélices de un buque se encuentran desconectadas del tren propulsor, sin torque o potencia mecánica y son

arrastradas girando por efecto del desplazamiento de la embarcación, que es propulsada por otro medio, ya sean otras hélices, hidrojets o aparejos de vela. Estas hélices generan resistencia adicional.

Hidrojets: Sistema de propulsión que consiste en expulsar agua a mucha presión y aprovechar el efecto de acción-reacción producido, para desplazar la embarcación.

Manifold: Es un dispositivo de distribución de fluidos compuestos de tuberías y válvulas, por lo general tiene una sola entrada pero varias salidas.

Mesana: Mástil que se encuentra más a proa en un buque de tres palos

Número de Octano: También denominado "Octanaje" o "Índice de Octano", mide la resistencia que presenta un combustible a detonar prematuramente cuando es comprimido dentro del cilindro de un motor.

Es una característica deseable de los combustibles empleados en Motores Encendidos por Chispa (MECH) Ciclo Otto. El octanaje indica la presión y temperatura a la que puede ser sometido un combustible mezclado con aire antes de auto-detonarse al alcanzar su temperatura de auto ignición debido a la Ley de los gases ideales.

Número de Cetano: Sirve para medir la cualidad de ignición de un combustible debido al efecto de la compresión. El número cetano de un combustible es el porcentaje de cetano en una mezcla de cetano y alfa-naftaleno que tiene la misma cualidad de ignición que el combustible que está siendo probado.

Los combustibles con buenas cualidades de ignición requieren grados de compresión menores y los combustibles con pobres cualidades de ignición requieren altos grados de compresión y tienen un número de cetano menor.

Esta característica es deseable en los combustibles empleados en los Motores Encendidos por Compresión (MEC) Ciclo Diésel.

Procesos adiabáticos: Procesos en los que no hay transferencia de calor alguna.

Procesos Isobáricos: Procesos en los cuales la presión no varía.

Procesos Isócoros: Procesos en los que el volumen permanece constante.

Procesos Isotérmicos: Procesos en los que la temperatura no cambia.

Procesos Isentrópicos: Procesos en los que la entropía permanece constante

Punto muerto superior (PMS): Posición del pistón más próxima a la culata.

Punto muerto inferior (PMI): Posición del pistón más alejada de la culata.

Radiación: Transferencia de calor en forma de ondas. Un cuerpo más caliente que su entorno pierde calor hasta que su temperatura se equilibra emitiendo ondas de calor radiante las cuales son proyectadas en todas las direcciones y son absorbidas por todas las superficies expuestas a ellas. La radiación puede ser el proceso de transferencia de calor dominante para cuerpos relativamente aislados del entorno o para muy altas temperaturas.

Relación volumétrica de compresión: Es la relación que hay entre el volumen total del cilindro y el volumen de la cámara de combustión. Comúnmente se denomina “relación de compresión”.

Relay: Conocido también como Relé; Es un interruptor operado magnéticamente, que se activa o desactiva, cuando un electroimán que forma parte de este dispositivo es energizado. Esta operación causa que exista conexión o no, entre dos o más terminales de un dispositivo y se logra con la atracción o repulsión de un pequeño brazo, por el electroimán. Este pequeño brazo conecta o desconecta los terminales.

Reóstatos: Es un dispositivo o instrumento que sirve para variar la resistencia de un circuito eléctrico. Los reóstatos son usados en ingeniería eléctrica generalmente para el arranque de motores o cualquier tarea que requiera variación de resistencia en condiciones de elevada tensión o corriente.

Retro-flama: Fuego de la combustión del hogar de una caldera que sale fuera de esta por efecto de la diferencia de presiones al interior y exterior.

Sentina: Espacio inferior de un buque, ubicado sobre la quilla y debajo de la última cubierta inferior, en el que se depositan aguas y residuos oleosos, que se filtran por los costados, cubierta y de los diferentes equipos y sistemas del buque, de donde son expulsadas luego por las bombas del sistema de achique.

Shunt: Su traducción al español podría corresponder al término “derivación”. Un motor “Shunt” o motor de excitación en paralelo es un motor de corriente continua cuyo bobinado inductor principal está conectado en derivación con el circuito formado por los bobinados inducido e inductor auxiliar. Los motores de corriente continua en derivación son adecuados para aplicaciones en donde se necesita velocidad constante a cualquier ajuste del control o en los casos en que es necesario un rango apreciable de velocidades.

Solenoides: Bobina cilíndrica de hilo conductor arrollado de manera que la corriente eléctrica produzca un intenso campo magnético.

Tandem: Forma de montar ciertos aparatos mecánicos para que funcionen simultánea o sucesivamente dentro de un sistema.

Torque: Término de origen inglés, que se refiere al “Momento de Rotación” o torsión; Generalmente está relacionado con el Movimiento Curvilíneo Uniformemente Acelerado, con el momento de fuerza de un conjunto de fuerzas y con la fuerza de un motor o “par motor”.

Volumen total del cilindro: Es el espacio comprendido entre la culata y el pistón cuando este se halla en el PMI, se mide en centímetros cúbicos (cm³).

Volumen de la cámara de combustión: Es el volumen comprendido entre la culata y el pistón cuando este se halla en el PMS, se mide en centímetros cúbicos (cm³).

Volumen desalojado por el pistón o cilindrada: Es el volumen generado por el pistón en su movimiento alternativo desde el PMS hasta el PMI, se mide en centímetros cúbicos (cm³). Es igual al volumen total del cilindro menos el volumen de la cámara de combustión.

Virado: Acción de hacer girar periódicamente el eje de una máquina o motor por un medio externo, generalmente como parte de las actividades de mantenimiento.

BIBLIOGRAFÍA

ALÁEZ Zazurca José Antonio "Resistencia Viscosa de Buques" Madrid : Canal de Experiencias Hidrodinámicas de El Pardo, 1972.

BLANK David A., BOCK Arthur E., RICHARDSON David J. "Intoroduction to Naval Engeniering" (Segunda edición) Naval Institute Press Annapolis, Maryland 1980.

COHEN, G.F.C. Rogers, "Turbinas a Gas". Editorial Marcombo 1983.

KATES E.J. & LUCK W. "Motores Diésel y de Gas de Alta Compresión" Editorial. Reverte, 1986.

KEARTON William J. "Steam turbine theory and practice". 7ª Edición. Londres: Sir Isaac Pitmain & Sons, Ltd. 1961.

KOSOW Irving L. "Máquinas Eléctricas y Transformadores" Editorial Reverte, 1990

MATTINGLY, Jack D. "Elements of Gas Turbine Propulsion". Singapur: McGraw-Hill Internationl Editions 1996.

MAZARREDO Beutel Luis de "Evolución de la Propulsión Naval Mecánica" Fondo Editorial de Ingeniería Naval (Colegio Oficial de Ingenieros Navales) Madrid 1992

Pratt & Whitney Canada. PT6 A-40 "Series training manual". Canada: Pratt & Whitney Canada Inc. 1998.

SEVERNS W.H. & DEGLER H.E. "La Producción de Energía Mediante el Vapor de Agua, el Aire y los Gases". Editorial Reverte, 1974.

BIBLIOTECA TÉCNICA DE LA DIRECCIÓN DE ALISTAMIENTO NAVAL Manuales de Sistemas y Equipos.

Este libro se imprimió en los talleres gráficos de
Iakob Comunicadores y Editores S.A.C.
Situado en: Jr. Manuel Segura N° 775 • Lima 01
R.U.C. 20524555701
Octubre, 2013