

Análisis y cálculo del sistema de refrigeración de agua dulce de un remolcador

Alumno: Arnau Lloret Reixach

Tutor: Ramón Grau Mur

Ingeniería técnica naval en propulsión y servicios del buque

Índice

1.Introducción.....	7
2. Normativa Vigente	9
3. Características de los remolcadores	13
3.1 Clasificación de Remolcadores.....	13
3.1.1 Clasificación según Cometido.....	13
3.1.2 Clasificación por sistema propulsor.....	14
3.1.3 Clasificación según el sistema de gobierno	17
3.2 Características fundamentales de los remolcadores	20
3.2.1 Maniobrabilidad.....	20
3.2.2 Potencia	21
3.2.3 Estabilidad	21
3.2.4 Tracción a punto fijo.....	22
4. Sistema de refrigeración.....	24
4.1. Definición del sistema.....	24
4.2 Elementos presentes en un sistema de refrigeración	24
4.2.1 Bombas	24
4.2.1.1 Bomba centrífuga.....	25
4.2.1.2 Tipos de bombas centrífugas.....	26
4.2.1.2.1 Clasificación según la verificación de la corriente	26
4.2.1.2.2 Clasificación según el tipo de impulsor	28
4.2.1.2.3 Clasificación según el eje de rotación de la bomba	30
4.2.1.3 Selección de bomba	31

4.2.2 Válvulas.....	31
4.2.2.1 Válvulas de aguja.....	32
4.2.2.2 Válvulas de bola.....	33
4.2.2.3 Válvulas de compresión.....	37
4.2.2.5 Válvulas correderas.....	43
4.2.2.6 Válvulas de desahogo.....	45
4.2.2.7 Válvulas de diafragma.....	46
4.2.2.8 Válvulas de globo.....	48
4.2.2.9 Válvulas de jaula.....	54
4.2.2.10 Válvulas de macho.....	56
4.2.2.11 Válvulas de mariposa.....	60
4.2.2.12 Válvulas de retención.....	62
4.2.2.13 Selección de válvulas.....	69
4.2.3 Intercambiadores de calor.....	73
4.2.3.1 Clasificación de los intercambiadores de calor.....	74
4.2.3.1.1 Clasificación según el recorrido de los fluidos.....	74
4.2.3.1.2 Clasificación según la forma.....	75
4.2.3.1.2.1. Intercambiadores de tubo.....	76
4.2.3.1.2.2. Intercambiadores de placas.....	82
4.2.3.2 Elección de intercambiador de calor.....	84
4.2.3.3 Box-cooler.....	86

5. Mantenimiento de una instalación de refrigeración.....	89
5.1 Mantenimiento de la bomba centrífuga.	89
5.2 Mantenimiento intercambiador de placas	98
5.3 Mantenimiento de las válvulas	101
5.4. Mantenimiento de Box – cooler.....	101
5.4.1 Sistema de agua a presión	102
5.5 Mantenimiento del circuito en general.....	103
6. Presentación del remolcador.....	107
6.1 Sistema de propulsión	108
6.2 Sistema de Refrigeración del Salvador Dalí	109
6.2.1 circuito de refrigeración varios.....	109
6.2.2 Circuito de refrigeración de baja temperatura.....	113
6.2.3 Circuito de refrigeración de alta temperatura.....	114
6.2.4 Circuito de refrigeración de los motores auxiliares	115
7. Cálculos del sistema de refrigeración del Salvador Dalí....	117
7.1 Calculo de las perdidas	117
7.1.1 Cálculo de pérdidas por diferencia de altura.....	118
7.1.2 Cálculo de las pérdidas primarias.....	118
7.1.3 Perdidas secundarias	124
7.1.4 Calculo de la bomba	128
8.Posibles mejoras	129
8.1. Cálculos de la mejora.....	130
9.Conclusiones.....	133
10. Bibliografía.....	135
Anexos	137

1. Introducción

El proyecto en cuestión, intenta explicar los pasos necesarios para el diseño y cálculo de un sistema de refrigeración, concretamente de un sistema de refrigeración de agua dulce. El proyecto está dividido en cuatro partes diferenciadas.

La primera parte del proyecto, nos informa de las normativas vigentes que afectan al diseño y cálculo de un sistema de refrigeración. Además, nos informan de las funciones de los remolcadores, que sistemas de propulsión utilizan, cuáles son sus principales características etc.

La segunda parte es la explicación del funcionamiento, partes y tipos de los principales elementos que podemos encontrar en un sistema de refrigeración de agua dulce. También, se indicaran algunos parámetros, los cuales nos permiten elegir la mejor opción para el sistema que estamos diseñando. Asimismo, se mostraran los procesos de mantenimiento de cada uno de ellos.

La tercera parte, nos presenta el buque elegido para el cálculo de su sistema de refrigeración, el Salvador Dalí, y nos explica detalladamente los cálculos necesarios para poder hacer su diseño del sistema de refrigeración.

En la última parte del proyecto se muestran los anexos. En esta parte, encontramos los planos del remolcador e información sobre box-cooler y válvulas que pueden complementar el trabajo.

2. Normativa Vigente

Todo proyecto de diseño naval debe cumplir la normativa de seguridad y prevención de contaminación redactada por IMO “International Maritime Organization” y recogida en el convenio de SOLAS “*Safety Of Life At Sea*” y MARPOL “*Marine pollution*”. Asimismo, se tendrán en cuenta las normativas de una sociedad de clasificación, ya que la IMO nos obliga. En este caso se elige la Lloyd’s Register.

Para poder diseñar el sistema de refrigeración por agua dulce de un remolcador debemos tener en cuenta, principalmente, las siguientes indicaciones recogidas en la regla 26 del convenio SOLAS:

- Las máquinas, las calderas y otros recipientes a presión, así como los correspondientes sistemas de tuberías y accesorios, responderán a un proyecto y a una construcción adecuada para el servicio al que estén destinados. Además, irán instalados y protegidos de modo que se reduzca al mínimo todo peligro para las personas que pueda haber a bordo, considerándose en este sentido como proceda las piezas móviles, las superficies calientes y otros riesgos. En el proyecto se tendrán en cuenta los materiales de construcción utilizados, los fines a que el equipo esté destinado, las condiciones de trabajo a que habrá de estar sometido y las condiciones ambientales de a bordo.
- Se proveerán medios que permitan mantener o restablecer el funcionamiento normal de las máquinas propulsoras, aun cuando no se esté empleando una de las máquinas auxiliares esenciales. Se prestará atención especial a los defectos de funcionamiento que puedan darse en las fuentes de presión del agua.

- Todas las calderas, así como los componentes de las máquinas y la plenitud los sistemas de vapor, hidráulicos, neumáticos o de cualquier otra índole, así como los accesorios correspondientes, que deban de soportar presiones internas, serán sometidos a las pruebas correspondientes. Entre ellas, una depresión, antes de que entren en servicio por primera vez.
- Las máquinas propulsoras principales y todas las máquinas auxiliares esenciales a fines de propulsión y seguridad del buque instaladas a bordo, responderán a un proyecto tal que puedan funcionar cuando el buque esté adrizado, o cuando esté inclinado hacia cualquiera de ambas bandas con ángulos de escora de 58 como máximo en estado estático y de 22,58 en estado dinámico (de balance) y, a la vez, con una inclinación dinámica (por cabeceo) de 7,58 a proa o popa. La administración, podrá permitir que varíen estos ángulos teniendo en cuenta el tipo, las dimensiones, y las condiciones de servicio del buque.
- Se tomarán las disposiciones oportunas para facilitar la limpieza, la inspección y el mantenimiento de las máquinas principales y auxiliares de propulsión, con inclusión de calderas y recipientes a presión.
- En el caso de que las juntas de dilatación no metálicas de los sistemas de tuberías estén situadas en un sistema que atraviesa el costado del buque, y tanto el punto de penetración, como la junta de dilatación no metálica se hallan por debajo de la línea de máxima carga, se deberá proceder a la inspección en el marco de los reconocimientos prescritos en la regla I/10 y reemplazarse cuando sea necesario, o con la frecuencia que recomiende el fabricante.

La normativa de la sociedad de clasificación a tener presente para realizar el diseño del sistema de refrigeración por agua dulce en el remolcador, está recogida en el anexo. Esta normativa se encuentra en los capítulos 12, 13 y 14 de *“Main and auxiliary machinery”* en *“Lloyd’s Register rules & regulations”*.

El capítulo 12, consta de 11 partes diferenciadas. La primera, nos indica condiciones generales mínimas para toda tubería y toda nomenclatura necesaria para poder entender los apartados siguientes. Este apartado también nos divide el tipo de tuberías en 3 clases, ya que nuestro caso no deberá soportar ni temperaturas ni presiones muy elevadas, será clasificada como clase III. Los siguientes 4 apartados, nos indican la normativa a tener en cuenta según el material con el que estén realizadas las tuberías. El sexto apartado, nos muestra los mínimos requisitos que deberán tener las válvulas; Por ejemplo, toda válvula deberá tener como mínimo un indicador que nos informe si ésta, está cerrada o abierta. El séptimo apartado, nos informa de las particularidades a tener en cuenta para las tuberías flexibles como del octavo apartado de los testes hidráulicos que deberán superar las tuberías. También es de nuestro interés el apéndice de este capítulo, ya que incrementa la información para tuberías metálicas que transporten agua.

El capítulo 13, cuyo nombre es *“Shipping systems”*, también está dividido en apartados, en este caso 14. El primer apartado, nos dictamina las condiciones generales a cumplir de cualquier diseño de tuberías, y toda la información necesaria para entender las siguientes normativas. El segundo apartado, nos informa de las propiedades que deberán tener en cuenta en la construcción e instalación del sistema. A continuación, los siguientes apartados nos indican las particularidades a tener en cuenta, y los requisitos mínimos de los sistemas según su localización o función principal. Por último, este capítulo contiene un apartado que nos dictamina las entradas de agua.

El capítulo 14, *“Machinery piping systems”*, también está dividido por diferentes apartados, en este caso únicamente en los apartados 1, 7 y 8, ya que los

demás no nos incumben para nuestro objetivo. El apartado primero, como los anteriores, nos servirá para saber las normativas generales y la información necesaria para entender los siguientes apartados. El apartado séptimo, nos dictamina los requisitos a cumplir para la refrigeración de la embarcación, y el octavo apartado nos dicta las condiciones de todo sistema hidráulico.

3. Características de los remolcadores

3.1 Clasificación de Remolcadores

Los remolcadores son embarcaciones cuya función es asistencia en la navegación y maniobra de embarcaciones en situaciones comprometidas por causa de su calado, tamaño o avería. Así, los remolcadores deben poder asistir a un buque en las maniobras de atraque y desatraque; ayudar en le reviro de un buque en una área reducida; dar el apoyo necesario para contrarrestar las fuerzas del viento, oleaje o corrientes, cuando el buque asistido no sea capaz de hacerlo con sus propios medios; remolcar, empujar y parar una embarcación sin medios de propulsión o gobierno; transportar gabarras o objetos y artefactos flotantes.

La clasificación de los remolcadores puede variar según los parámetros escogidos. En este caso, los clasificaremos según sus funciones, sistemas de propulsión, y sistemas de gobierno.

3.1.1 Clasificación según Cometido.

Atendiendo al tipo de operaciones que van a realizar los remolcadores, podemos clasificados en tres tipos: remolcador de puerto, remolcador de puerto y altura, y remolcador de altura y salvamento.

- Remolcador de puerto: Su cometido principal, es el tráfico interior del puerto. Su potencia suele situarse entre 400 y 3.000 CV, con tracción a punto fijo de 6 a 30 toneladas, una eslora entre 20 y 30 metros y unos calados que suelen ser de entre 3 y 4'5 metros. Estos remolcadores suelen tener, aparte de su equipo de remolque, instalaciones de

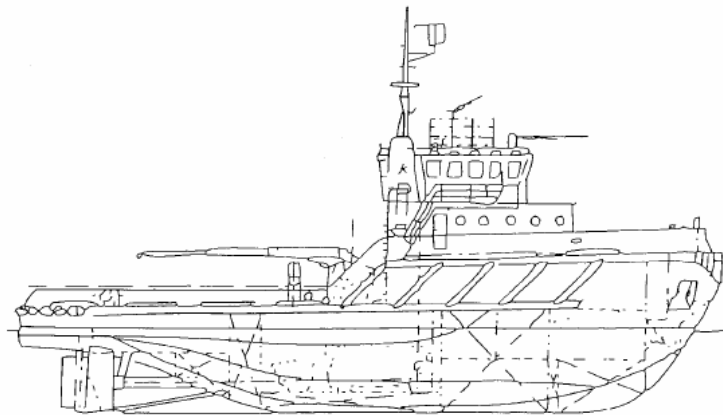
contra incendios de agua y agua-espuma capaces de apagar incendios de gran envergadura. Además, algunos remolcadores también son capaces de hacer funcionar los motores principales de otras embarcaciones facilitándoles aire para arranque y energía eléctrica.

- Remolcador de puerto y altura: Sus funciones son de servicios de puerto para auxiliar a grandes buques y remolques costeros de altura. Su potencia suele situarse entre 1.500 y 5.000 CV, su eslora entre 25 y 40 metros, con tracción a punto fijo de 20 a 55 toneladas.
- Remolcador de altura y salvamento: Su cometido, son los remolques oceánicos y prestar asistencia a los buques en peligro en altamar. Suele tener una eslora entre 40 y 80 metros y una potencia de 4.000 y 20.000 CV, su tracción a punto fijo puede alcanzar 180 toneladas.

3.1.2 Clasificación por sistema propulsor.

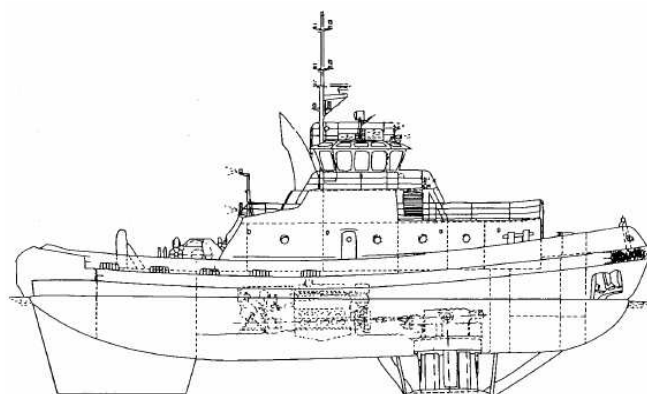
En la clasificación por el sistema propulsor, hallamos cinco tipos diferenciados: Remolcador de una hélice, remolcador de dos hélices, remolcador tractor, remolcador “Z-peller” y remolcador “Z-Driver”.

- Remolcador de una hélice: Este tipo de remolcador es el más tradicional. Sólo posee una hélice en la popa, pudiendo llevarla dentro de una tobera para aumentar la fuerza de tracción. Por su parte, las palas pueden ser fijas o de paso variable. El principal inconveniente de este remolcador es la no maniobrabilidad en marcha atrás.



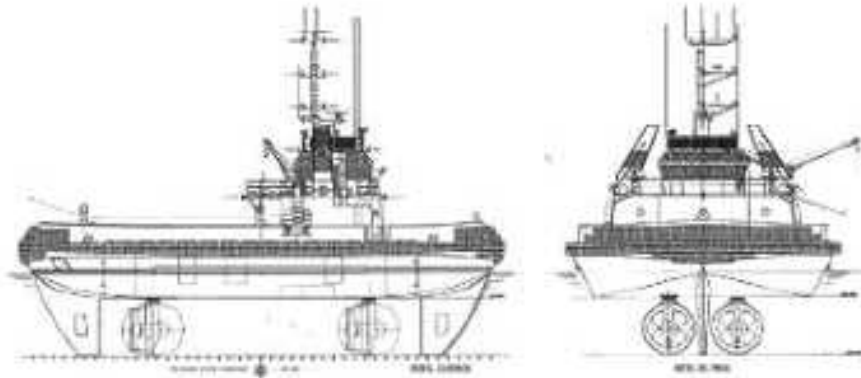
Remolcador de una hélice con tobera.

- Remolcador de dos hélices: Este remolcador tiene dos hélices gemelas en la popa accionadas por ejes horizontales. Las hélices pueden ser de paso variable o fijo, y puede estar instalado dentro de toberas, o no.
- Remolcador tractor: Esta clase de remolcador lleva el elemento propulsor en la proa. El elemento propulsor puede ser tipo Schottel o Voith-Schneider. Al llevar el gancho de remolque en la popa, evita que la embarcación pueda zozobrar al tirar de través.



Remolcador tractor con propulsor Voith-Schneider

- Remolcador “Z-peller”: Se trata de un remolcador de propulsión a popa con dos hélices gemelas tipo Schottel con 360° de giro. Debido a su gran maniobrabilidad y tiro puede actuar como remolcador tipo tractor o de empuje y tiro.
- Remolcador “Z-dricer”: Es un tipo de remolcador que tiene dos propulsores azimutales, dispuestos uno de ellos a proa estribor, y otro a popa babor, o viceversa. Esta configuración permite que, cuando se navegue avante, el flujo de los propulsores de proa no interfiera con los de popa, evitando así, efectos negativos que se comentarán más adelante. De esta manera, se consigue mayor maniobrabilidad y la posibilidad de navegar libremente hacia los costados.



Vista lateral y frontal de un remolcador “Z-Driver”

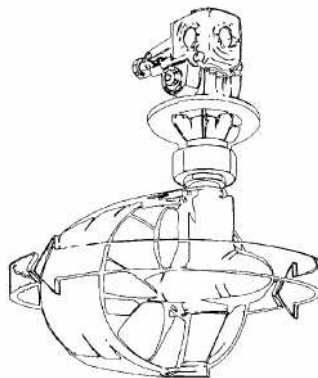
3.1.3 Clasificación según el sistema de gobierno

Existen seis tipos diferentes de remolcadores según la clasificación por el sistema de gobierno: Towmaster, Timón Kort, Timones laterales, Dos hélices y un solo timón, Doble timón y una hélice y Propulsor- gobierno.

- Remolcador con towmaster: Este sistema de gobierno, sitúa varios timones detrás de cada tobera. Éstos, pueden llegar a girar hasta 60° en cada banda, en lugar de los 35 o 40° habituales. Esto, permite obtener una excelente maniobrabilidad en marcha avante, aunque precisa un mayor calado de popa.
- Remolcador con timón Kort: Consiste en una tobera, en cuyo interior se encuentra la hélice propulsora. La tobera esta acoplada a la mecha del timón y gira accionada por el servomotor, así se consigue una mayor maniobrabilidad marcha atrás. Sin embargo, el tiempo de respuesta de este timón es mucho más lento que los timones convencionales.
- Remolcador con timones laterales: Estos timones auxiliares se instalan a proa y a cada lado de la hélice propulsora, proporcionando una mayor gobernabilidad en las maniobras marcha atrás. Estos timones se controlan por separado y se mantiene en la vía en marcha avante. Se suelen utilizar con timón Kort.
- Remolcador con dos hélices y un solo timón: Este sistema de gobierno, no es muy eficaz en maniobras, pero sí lo es con maniobras con el gancho de remolque.

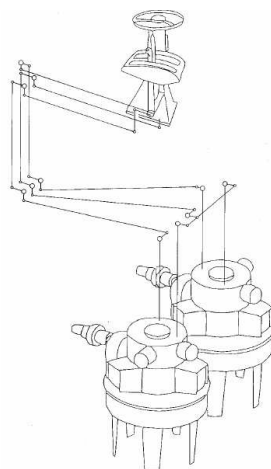
- Remolcador con doble timón y una hélice: Este sistema de gobierno, suele utilizarse con remolcadores con hélices de paso variable, con objeto de mejorar las desfavorables características de gobierno que presentan estos remolcadores, en el caso en el que se dispone de un solo timón detrás de ella, y la hélice está en paso cero.

- Remolcador con propulsor-gobierno: Existen dos subtipos de remolcador según se utilice el sistema Schottel, o el sistema Voith-Shneider de propulsión.
 - a) *Sistema schottel*: Este sistema consiste en una hélice suspendida de un eje vertical en Z o ángulo recto. Fijo al eje, hay una tobera, dentro de la cual gira la hélice. Con este giro se consigue dirigir el chorro de la corriente de expulsión en la dirección deseada, dando una gran maniobrabilidad al remolcador que puede desplazarse en todos los sentidos.



Sistema Schottel

b) *Sistema Voith-Schneider*. Consiste en un rotor que gira sobre un eje vertical fijo al casco aproximadamente en su punto giratorio, provisto de cuatro palas que pivotan sobre ejes verticales. Las palas, están accionadas por un mecanismo llamado control de gobierno, que fija el ángulo de ataque de las palas en las diferentes posiciones de maniobra, determinando la posición del centro de gobierno. Cuando el centro de gobierno se separa del centro geométrico del rotor, las palas ejercen un movimiento alrededor de su eje produciendo un chorro de agua que crea una reacción en contrario. El mecanismo está diseñado de un modo sincronizado de manera que las perpendiculares a la cuerda del perfil de cada pala coinciden en el centro de gobierno, con lo cual se consigue que el chorro de agua y empuje resultantes sean perpendiculares a la línea que une el centro de gobierno con centro geométrico del rotor. De esta forma, puede conseguirse con un solo rotor un empuje en cualquier dirección, lo que da una gran capacidad de maniobra a este sistema. El sistema Voith-Schneider produce un menor empuje para navegación avante que una hélice de paso fijo para la misma potencia instalada. Sin embargo, esta pérdida de eficacia está compensada por la alta maniobrabilidad obtenida, que es muy necesaria para operaciones en aguas restringidas.



Sistema Voith-Schneider

Tipo de propulsión	Hélice de paso variable y doble timón colgado	Hélice de paso variable y timón Kort	Propulsión Voith - Schneider	Propulsión Schottel
Eslora relativa	Grande	Grande	Medio	Medio
rpm aproximadas	400	400	500-600	750
Tiempo para una parada de emergencia	39	20	18	10
Tiempo de avante - atrás	10	10	7	7,5
Arco de fuerza de gobierno	70	70	360	360
Tiempo de recorrido del arco	15-30	15-30	15	15
Tiempo de giro 360°	65-70	45-50	35-45	20-25
Radio de giro relación eslora	3-5 L	1,5-20 L	1-1,3 L	1-1,3 L

Características comparadas de remolcadores con doble hélice

3.2 Características fundamentales de los remolcadores

Las principales características de todo remolcador son: La maniobrabilidad, la potencia, la estabilidad y la tracción a punto fijo.

3.2.1 Maniobrabilidad.

La capacidad y facilidad de maniobra de un remolcador, es fundamental para la ejecución de las funciones, ya que en maniobras con grandes buques en

espacios reducidos será necesario poder moverse en todas direcciones. La maniobrabilidad de un remolcador dependerá, entre otros, de la forma del casco, para la cual tenemos dos opciones para que las corrientes de aspiración lleguen a la hélices sin turbulencias: Aplicando un fondo plano, o la popa de forma hidrocónica. Otros sistemas que afectan a la maniobrabilidad, son el sistema de propulsión y gobierno. Los sistemas que darán una mayor maniobrabilidad, son el sistema Schottel o Voith-Shneider, como se ha explicado anteriormente. Otro punto que afectará la maniobrabilidad, es la posición del gancho de remolque: Cuanto más cerca esté del centro de resistencia, mayor será la maniobrabilidad. Por último, el tiempo de parada también afectará a la maniobrabilidad.

3.2.2 Potencia

La potencia debe ser suficiente para efectuar las labores del remolcador de forma segura. La potencia de la embarcación dependerá del rendimiento del motor propulsor, del rendimiento de la línea de ejes, del rendimiento de la hélice, del rendimiento del casco del remolcador y de la embarcación remolcada. La potencia necesaria será la suma de las potencias necesarias para moverse el mismo y el buque remolcado.

3.2.3 Estabilidad

La curva de estabilidad estática para un remolcador debe ser positiva hasta los 70° con un brazo de estabilidad (distancia del metacentro y el centro de gravedad) de unos 60 cm. Para poder mejorar la estabilidad de los remolcadores, se trata de aumentar la manga, reducir la resistencia transversal del casco, reduciendo la altura del punto de tiro y empuje y utilizando amarres y cabos de remolque con buena absorción de cargas de impacto.

3.2.4 Tracción a punto fijo.

Es la cantidad de la fuerza horizontal que puede aplicar el remolcador trabajando avante suponiendo velocidad 0 de desplazamiento, coincidiendo con la tracción que el remolcador produciría en una amarra que le fijase a un bolardo fijo de un muelle. La tracción a punto fijo, depende del área de giro de la hélice, su paso, la potencia al freno y la potencia en el eje, además del desplazamiento, forma del casco y tipo de propulsor.

Se puede determinar mediante la siguiente fórmula:

$$T_{PF} = K_{PF} \cdot \frac{W_R}{1000}$$

Siendo T_{PF} la tracción a punto fijo en toneladas, W_R la potencia al freno del remolcador en CV y K_{PF} el coeficiente dependiendo de la potencia y sistema de propulsión.

	500-2000 CV	2000-4000 CV
Hélices de paso fijo	10.0-11.0	9.0-10.0
Hélices de paso fijo con tobera	11.5-13.0	10.5-12.0
Hélices de paso variable	10.5-11.5	9.5-10.5
Hélices de paso variable con tobera	12.5-13.5	11.5-12.5
Hélices sistema Schottel	9.0-10.0	8.0-9.0
Hélices sistema Voith-Schneider	9.0-9.5	8.5-9.0

Tabla de valores de K_{PF}

4. Sistema de refrigeración

4.1. Definición del sistema

El sistema de refrigeración está basado en principios de termodinámica y mecánica de fluidos, cuya función es la transmisión de energía térmica de un punto a otro, consiguiendo la reducción de temperatura del primer punto. La transmisión de energía térmica se consigue mediante la circulación de un fluido refrigerante, mediante bombas o compresores, por el interior de unas tuberías e intercambiadores de calor.

4.2 Elementos presentes en un sistema de refrigeración

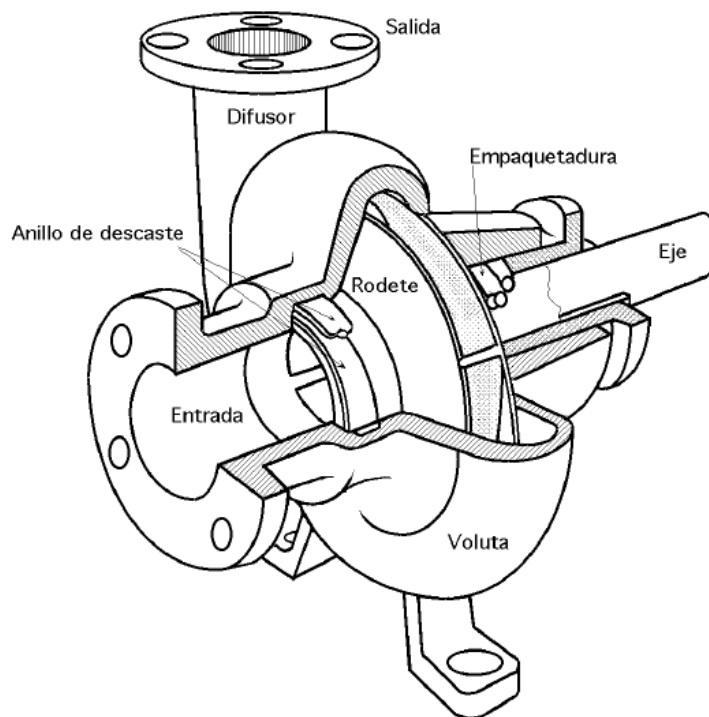
4.2.1 Bombas

Una bomba es una maquina cuya función es dar energía a un fluido para que este se desplace de un punto a otro. El tipo de bomba más usado en los sistemas de refrigeración es la centrífuga.

La bomba centrífuga, también conocida como turbomáquina, rotativa o de desplazamiento no positivo, es la más utilizada, ya que del total de las bombas existentes en el mundo se calcula que un 70% son centrífugas. Su éxito se debe a su simplicidad, su bajo coste inicial y de mantenimiento, al provocar un flujo uniforme, sus pequeñas dimensiones, y su funcionamiento silencioso. Estas bombas se pueden clasificar según varios varemos, a continuación estudiaremos su clasificación.

4.2.1.1 Bomba centrífuga

Las bombas centrífugas son máquinas hidráulicas que transforman un trabajo mecánico en otro hidráulico. Sus elementos principales son la tobera de aspiración y el rodete. El rodete está formado por una serie de álabes que giran dentro de una carcasa circular.



Bomba centrífuga

Su funcionamiento consiste en la entrada del fluido axialmente por la tobera de aspiración hasta el centro del rodete. Éste está accionado por un motor, experimentando un cambio de dirección pasando a radial o axial, según el tipo de bomba, adquiriendo una aceleración y absorbiendo un trabajo. Los alabes del rodete, someten a las partículas del fluido un movimiento de rotación muy rápido, siendo proyectadas hacia el exterior por la fuerza centrífuga, causando

que abandonen el rodete hacia la voluta a gran velocidad, aumentando su presión en el impulsor según la distancia al eje. En la voluta, también llamada carcasa, se transforma parte de la energía dinámica adquirida en el rodete en energía de presión. La voluta, está dispuesta en forma de caracol, de tal manera que la separación entre ella y el rodete es mínima en la parte superior. Esta separación, va aumentando hasta que las partículas del fluido se encuentran frente a la abertura de impulsión.

Las ventajas principales de las bombas centrífugas son su caudal constante, presión uniforme, sencillez de construcción, tamaño reducido, bajo mantenimiento y flexibilidad de regulación. Sin embargo, como desventaja encontramos que, toda bomba centrífuga, tiene la necesidad de cebado previo al funcionamiento, ya que no son autoaspirantes.

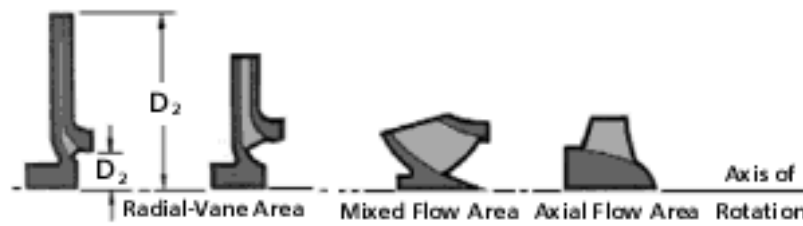
4.2.1.2 Tipos de bombas centrífugas

Existen 3 formas principales de clasificar las bombas centrífugas, según como se verifica la corriente, según el tipo de impulsor, o según el eje de rotación de la bomba.

4.2.1.2.1 Clasificación según la verificación de la corriente

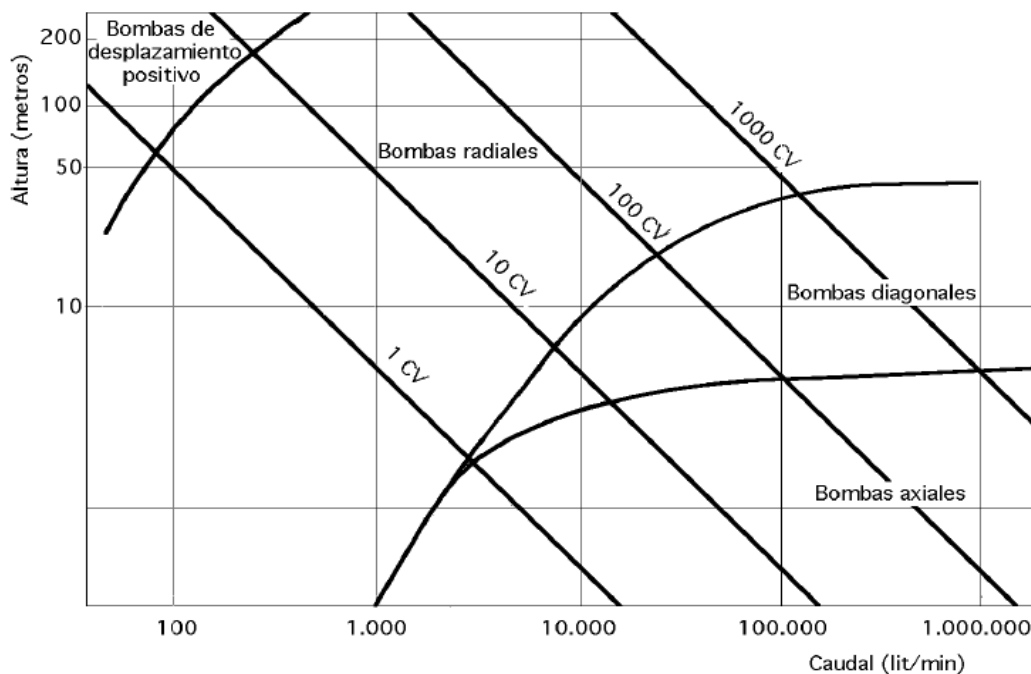
En esta clasificación podemos dividir las bombas centrífugas en tres tipos, radiales, axiales o diagonales, también nombradas de flujo mixto.

Las características principales para el tipo axial son el buen rendimiento con grandes caudales. Sin embargo, no puede dar grandes presiones, mientras que con las bombas radiales sucede lo contrario; No poseen un buen rendimiento en caudales grandes, pero son capaces de dar grandes presiones.



Álabes de cada tipo de bomba centrífuga

Como podemos ver a la imagen superior, cada uno de los tipos de bombas, tiene los álabes diferentes. En el primer caso, las radiales, el alabe esta curvado hacia la dirección contraria del flujo, mientras las axiales tiene un perfil aerodinámico.



Campos de aplicación de cada una de los tipos de bombas centrífugas

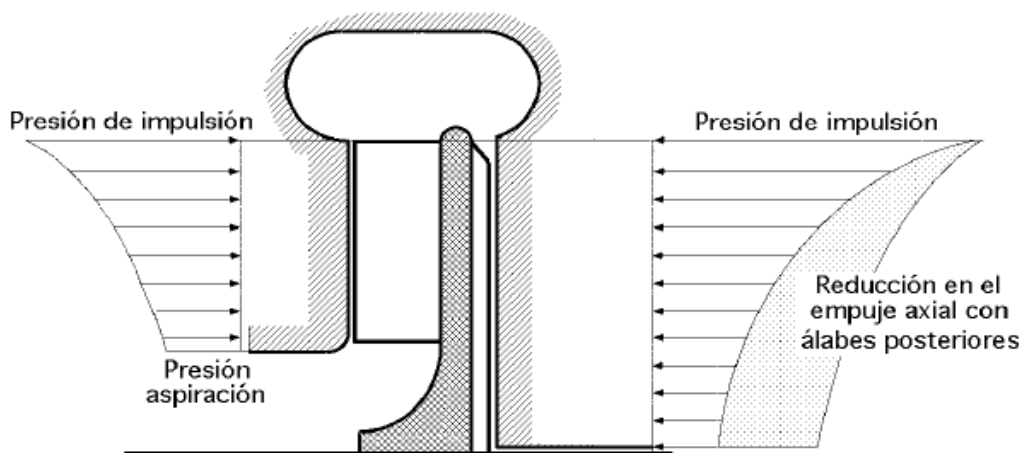
En el grafico podemos observar que con poca potencia y poco caudal, una bomba radial es capaz de dar una gran presión, mientras que las bombas

axiales no son capaces de dar presiones elevadas pero sí de mover grandes caudales.

4.2.1.2.2 Clasificación según el tipo de impulsor

En la clasificación de las bombas centrífugas según su sistema de impulsor se pueden encontrar tres grupos diferentes: Bombas con álabes aislados, con pared o disco lateral de apoyo, y con ambas paredes laterales.

Los impulsores abiertos, con álabes aislados. Los álabes desnudos, van unidos únicamente al eje de giro y se mueven entre dos paredes laterales fijas pertenecientes a la carcasa de la bomba, con tolerancias laterales lo más estrechas posibles para evitar fugas. Uno de los principales problemas de estos álabes, es su debilidad mecánicamente hablando, ya que son muy delgados y largos provocando momentos importantes. Para solucionar este problema se dispone de una pared posterior para aumentar su rigidez.

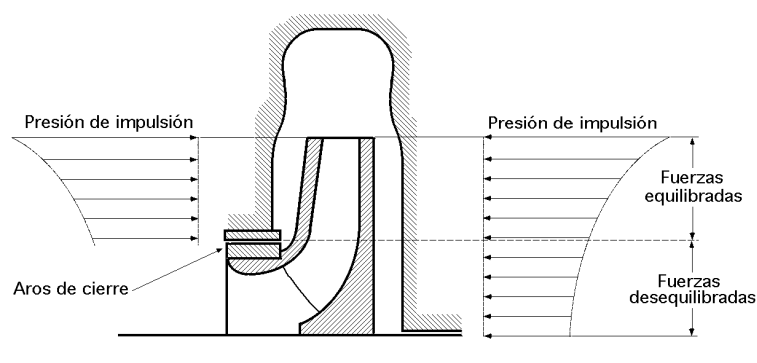


Empuje axial en un impulsor abierto de álabes posteriores

Este tipo de impulsores se utilizan principalmente en bombas radiales pequeñas y para el bombeo de líquidos abrasivos.

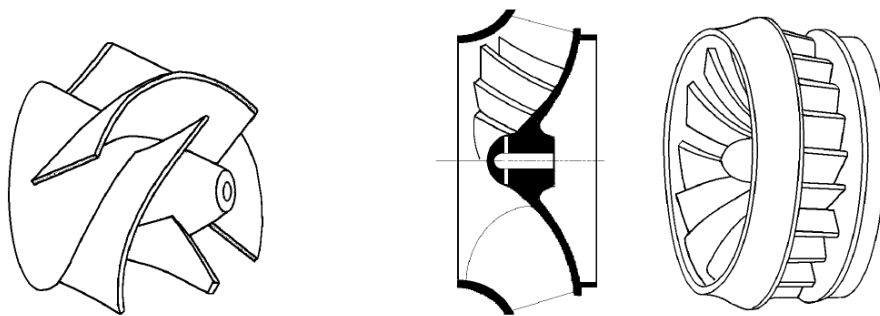
Los impulsores semiabiertos, con pared o disco de apoyo, son los que solo tienen la pared posterior lateral. Este sistema tiene un buen rendimiento por tener una tolerancia lateral muy estrecha. Al igual que el sistema abierto, a causa del desgaste de los álabes, éstos deben ser cambiados periódicamente. El desgaste de los álabes será proporcional a la velocidad relativa del líquido. Este desgaste no será uniforme, sino que se dará mayor desgaste a los costados del alabe, que en el centro. En caso de trabajar con líquidos abrasivos, se disponen de placas laterales de desgaste de fácil intercambio. Estas placas suelen estar fabricadas con acero inoxidable que tiene mayor dureza. Además, como ventaja podemos señalar que no se trata de un material caro.

Los impulsores cerrados tienen los álabes colocados entre dos paredes laterales, anterior y posterior. El estrecho margen de tolerancia existente para evitar fugas de retroceso entre la impulsión y la aspiración, suele ser axial y está constituida por unas superficies anulares muy próximas, situadas alrededor del orificio de aspiración, y formadas por los aros de cierre. Uno de ellos, es estacionario, montado en el cuerpo, y el otro gira montado en el impulsor.



Empuje axial en impulsor cerrado

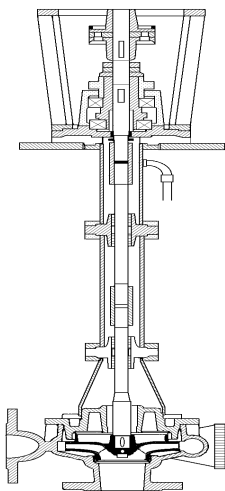
Las ventajas del impulsor abierto o semiabierto, respecto al cerrado, son su menor tendencia a obstruirse, su menor roce hidráulico del disco, al tener solo una pared girando, y una mayor facilidad de construcción. En contra, podemos señalar que, los impulsores cerrados pueden resistir mucho mejor cualquier flexión del eje, o contracciones y dilataciones mayores de las previstas, por lo que son más adecuados para servicios de altas temperaturas.



Rodete de bomba abierta y rodete de bomba cerrada

4.2.1.2.3 Clasificación según el eje de rotación de la bomba

El eje de rotación de una bomba puede ser horizontal o vertical. De esta disposición, se derivan diferencias estructurales en la construcción de la bomba.



Las bombas horizontales, tiene la disposición del eje de giro horizontal, lo cual presupone que la bomba y el motor se hallan a la misma altura. Este tipo de bombas, se utiliza para funcionamientos en seco, exterior al líquido bombeado que llega a la bomba por medio de una tubería de aspiración. Las bombas centrífugas, sin embargo, no deben rodar en seco, ya que necesitan del líquido bombeado como lubricante entre aros rozantes e impulsor y entre la empaquetadura y eje. Al

no ser autoaspirantes requieren, antes de la puesta en marcha, el estar cebadas. Esto es de mayor dificultad ya que la bomba no trabaja en carga estando por encima del nivel del líquido, así es necesaria una válvula de pie y distintos sistemas de cebado. Aun así, suelen ser más baratas y su mantenimiento y conservación es mucho más sencillo y económico.

Las bombas verticales tienen un eje de giro en posición vertical, es decir tiene el motor a un nivel superior al de la bomba, consiguiendo así que la bomba trabaje rodeada por el líquido a bombear, eliminando la necesidad de sistema de cebado.

4.2.1.3 Selección de bomba

Para seleccionar un tipo determinado de bomba centrífuga se deberá tener en cuenta las siguientes cuestiones:

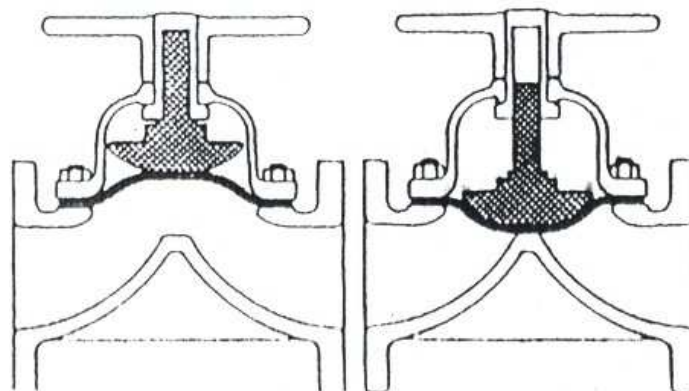
- Sobre el fluido a bombear: Propiedades físicas, peso específico, tensión de vapor, viscosidad, temperatura, presión de aspiración e impulsión del sistema
- Sobre la bomba: Dimensiones, velocidad, diámetro del eje, diámetro interior de la cámara de cierre, longitud de la cámara del cierre, distancia de la cámara del cierre, el primer apoyo, etc.

4.2.2 Válvulas

Las válvulas son un dispositivo mecánico, que principalmente tienen tres funciones, iniciar y parar el flujo del fluido, y regular el caudal del fluido, para así evitar que el fluido circule en sentido contrario al apropiado. A continuación se explica el funcionamiento de las diferentes válvulas.

4.2.2.1 Válvulas de aguja

Las válvulas de aguja, no son más que válvulas de globo que tienen machos cónicos similares a las agujas que ajustan con precisión en sus asientos. Al abrirlas, el vástago gira y se mueve hacia fuera. Con este tipo de válvulas se puede ser preciso en la estrangulación de pequeños volúmenes graduando el orificio formado entre el macho y el asiento. El uso más común, es de válvula para instrumentos o en sistemas hidráulicos, aunque no para altas temperaturas. Estas válvulas suelen ser de bronce, acero inoxidable, latón u otras aleaciones.

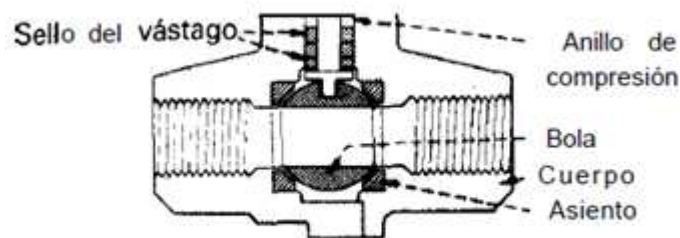


Válvula de aguja

Las válvulas de aguja, se suelen utilizar para controlar el paso de aire o líquidos hidráulicos para accionamiento. Las válvulas combinadas de retención y aguja, permiten una circulación controlada en un sentido o una circulación libre en un sentido y controlada en el opuesto. Las válvulas de aguja, también son muy usadas para válvulas de instrumento, evitando así las pulsaciones de presión.

4.2.2.2 Válvulas de bola

Las válvulas de bola tienen un gran parecido a las válvulas de macho. En la antigüedad, este tipo de válvula estaba limitada por el asentamiento metal contra metal, pero actualmente, al sustituirse este tipo de asentamientos por elastómeros, hace que las válvulas sean mucho más polifacéticas. Incluso, las podemos encontrar con orificios múltiples, simplificando las tuberías y reduciendo los costes.



Válvula de bola

Las válvulas de bola tienen como principal función iniciar y parar el flujo, ya que no tiene buenos resultados trabajando en estrangulación. Son rápidas para operarlas, de fácil mantenimiento, no tienen necesidad de lubricación y consiguen un cierre hermético. Este tipo de válvulas están limitadas a las temperaturas y presiones máximas que puede soportar su asiento. Estas válvulas están formadas por una bola con un orificio en un eje geométrico para

conectar las partes de entrada y de salida del cuerpo. Así, para abrir y cerrar la válvula tendremos de provocar un giro de 90°.

Los materiales de construcción de estos tipos de válvulas son muy variados: Podemos encontrar desde hierro fundido, a plástico, pasando por bronce, aluminio, acero al carbono, acero inoxidable, latón, titanio... Esto propicia que se pueda trabajar con todo tipo de fluidos, ya sean corrosivos, o no.

Los principales elementos de estas válvulas son: El cuerpo, el asiento y la bola. Se tienen dos posibilidades a escoger de cuerpo, podemos encontrarnos con que la bola y el asiento estén instalados por la parte superior de la válvula, o por los extremos.

Usualmente, el vástago no suele estar sujeto con la bola, sino existe una ranura en la bola donde uno de los extremos del vástago se ajusta a ella, permitiendo así girar a la bola. El vástago suele estar sellado con sellos anulares, o con empaquetaduras convencionales.

Las válvulas de bola, las podemos clasificar según como es su orificio. Este orificio puede ser completo. El orificio, tiene el mismo diámetro interior que la tubería, reducido. Además, posee un diámetro menor que el de la tubería, de venturi. Asimismo, el orificio tiene superficies reducidas, y se encuentra flujo de venturi dentro del cuerpo.

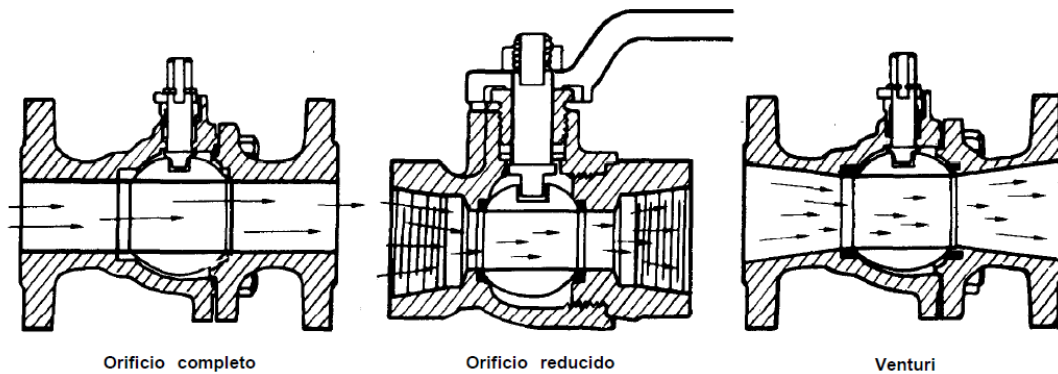
Aunque, como hemos comentado anteriormente, las válvulas de bola pueden tener más de un orificio, lo más común es que sea de dos vías. Esta válvula se cierra con un cuarto de vuelta. Para conseguir un cierre hermético, se utilizan anillos de asiento elásticos, este material suele ser TFE, gracias a su bajo punto de fricción y elasticidad.

Para mover el elemento de control de circulación, el vástago, podemos encontrarnos con una palanca, si la válvula es de pequeñas dimensiones, o con una unidad de engranajes si la válvula es de grandes dimensiones.

Las válvulas de bola utilizan sellos contra las fugas al exterior, que pueden ser desde sellos anulares, hasta empaquetaduras convencionales en el vástago. El sellado para las conexiones de extremo, debe ir de acuerdo con las especificaciones de tubería, y los sellos son idénticos a los utilizados para conectar tubos y accesorios.

Las válvulas de bola, las podemos dividir en dos grandes grupos: Las válvulas de bola flotante, y las bolas de bola montada en muñón.

Las válvulas de bola flotante, funcionan de la siguiente forma: La presión en la tubería, empuja a la bola flotante contra su asiento en el lado de corriente abajo. Conforme aumenta la presión en la tubería, también aumenta la eficacia del sello, sin embargo, las bajas presiones diferenciales pueden ocasionar problemas en el sellado. Para poder solucionar estos contratiempos, normalmente, se hace una compresión previa de los asientos de plástico durante el ensamble. La torsión de operación, aumenta de acuerdo con el tamaño y con la presión diferencial, por lo que el tamaño y gama de presiones, serán limitadas.



En las válvulas de bola montada en muñón, la bola está fija con guías en la parte superior e inferior, y la presión en la tubería empuja los asientos contra la bola. Cada asiento se mueve de forma independiente, y la mayor parte de este tipo de asiento, están bajo carga de resorte para cerrar con bajas presiones diferenciales. Estos asientos, pueden girar libres o se hacen girar con cierta fuerza cada vez que se acciona la válvula para distribuir el desgaste de los asientos. Este tipo de válvula, es muy común: La encontramos en aplicaciones de doble cierre, y purga.

Las válvulas de bola son de funcionamiento rápido, como hemos comentado anteriormente, para apertura y cierre, son de fácil mantenimiento, no requieren lubricación y producen cierre hermético a una torsión baja. Sus aplicaciones estarán limitadas según sean las cualidades de sus asientos y sellos. Aun así, podemos encontrar válvulas de bola con conductos internos y graseras de lubricación. Con estas válvulas lubricadas, deberemos tener especial atención de efectuar el mantenimiento periódico si consiguen un cierre hermético, ya que en caso de avería, la lubricación ofrece la posibilidad de cierre sin previo aviso.

Por último, señalar que las válvulas de bola, son compactas y pesan menos que las de compuerta, consiguiendo así sustituirlas en zonas de poco espacio.

4.2.2.3 Válvulas de compresión

Las válvulas de compresión, son las más baratas y sencillas. Sus utilidades son de inicio y parada de flujo, y estrangulación. Sus principales características son: El bajo coste de mantenimiento, la poca caída de presión para temperaturas moderadas, y para paso de pastas aguadas.

En estas válvulas el líquido, queda aislado de las piezas metálicas mediante tubos de caucho o de plástico, por lo que es ideal para fluidos corrosivos. Su principio de funcionamiento es oprimir un tubo flexible con un mecanismo de compresión.

Los principales elementos de estas válvulas, son el cuerpo y un mecanismo opresor. El cuerpo es un manguito o camisa moldeada. La camisa flexible, tiene extremos de brida y de abrazadera para acoplarlos con el tubo. Los cuerpos moldeados tienen limitaciones de temperatura y presión. El mecanismo de compresión se puede accionar con un volante, una rueda de cadena, o con un actuado hidráulico o eléctrico.

4.2.2.4 Válvulas de compuerta

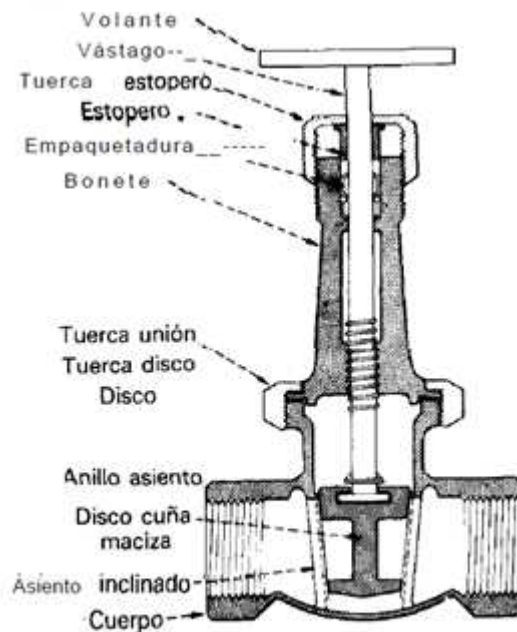
Las válvulas de compuerta, son las más comunes en sistemas donde son necesarias circulaciones ininterrumpidas y poca caída de presión. No es conveniente emplear este tipo de válvula para servicios de estrangulación, ya que la compuerta y el sello, tienden a sufrir erosión rápida cuando restringen la circulación, produciéndose turbulencias con la compuerta parcialmente abierta.

Este tipo de válvulas, aun siendo las más utilizadas para iniciar y parar la circulación, tienen una serie de inconvenientes. Las válvulas de compuerta, no son utilizables para un control preciso de flujo, ya que se da un porcentaje anormal de cambio de flujo cuando está casi cerrada, y a una elevada velocidad. Otro inconveniente de estas válvulas, es la rápida erosión que sufren la compuerta y el asiento al trabajar en estrangulación. Además, el disco y el asiento son sometidos a esfuerzos que pueden causar su deformación, imposibilitando así, el cierre hermético de la válvula. Consecuentemente, cuando la válvula tiene la máxima obertura, la compuerta se eleva por completo fuera del conducto del flujo, consiguiendo de esta manera, evitar los esfuerzos deformantes y la erosión. Si añadimos que la sección de la válvula suele ser la misma que la tubería que le sucede, la consecuencia es que, la caída de presión, es equivalente a la de una sección de tubo.

Los principales elementos estructurales de la válvula de compuerta son: El volante, vástago, bonete, compuerta, asiento y cuerpo.

Los asientos de la compuerta pueden ser integrales con el cuerpo, o ser de construcción anular. Si la válvula debe trabajar en altas temperaturas, los anillos del asiento se colocan a presión y se sueldan para sellarlos en el cuerpo de la válvula.

Las válvulas de compuerta pueden padecer fugas en ambos lados, donde se encuentra conectada con la tubería, en la unión entre el bonete y el cuerpo, en el vástago, y corriente debajo de la compuerta cuando la válvula está cerrada. Para poder evitarlas, se colocarán sellos desde el exterior o corriente abajo, cuando la válvula está cerrada. Estos sellos, pueden ser de metal a metal, metal en contacto a un material elástico, o metal en contacto con un inserto elástico colocado en cara de metal.



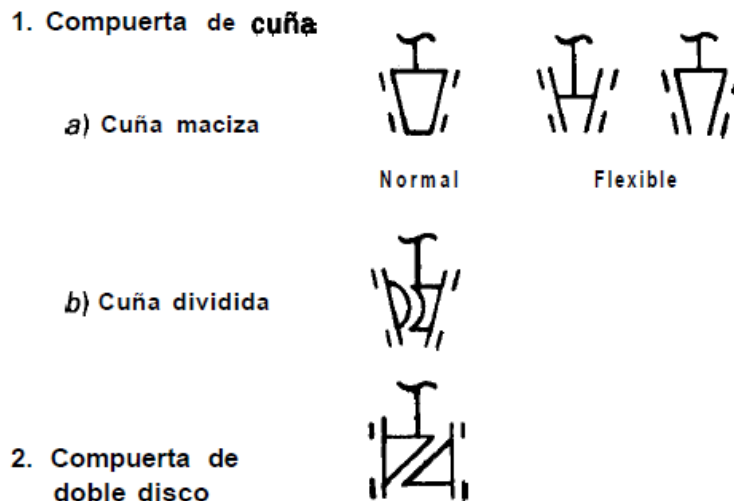
Válvula de compuerta

Aunque anteriormente se ha comentado que este tipo de válvulas no trabajan bien en control de flujo, existen unas variantes, dos tipos concretamente, que tienen un muy buen resultado en este campo de trabajo.

Unos de estos tipos de válvulas de compuerta, son las de compuerta de cuña maciza con asiento inclinado. Actualmente, a causa de la subida de temperaturas y presiones de trabajo, el asiento inclinado es un problema ya que sufre grandes erosiones. Una posible solución, es la utilización de una cuña flexible que minimiza el desgaste de las superficies de sellado

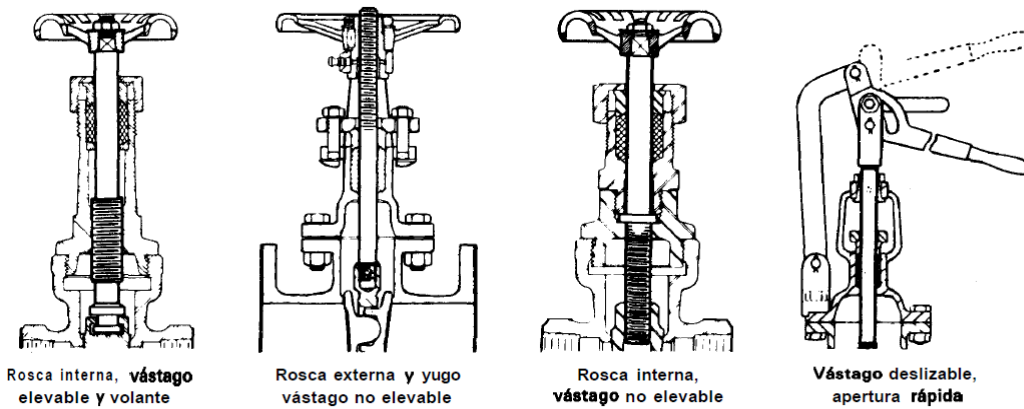
En el tipo de cuña dividida de bola y cuña, los dos discos están en contacto entre sí mediante una unión de bola y cuña. Dado que los discos pueden girar con independencia, se adaptan a los cambios en los ángulos de los

asientos y tienen buen sellado y más duración. Esta válvula suele utilizarse en sistemas en los que se trabaja con fluidos corrosivos y en bajas presiones.



Las válvulas de compuerta de disco doble, tienen dos discos que están empujados contra asientos paralelos en el punto de cierre mediante un expansor mecánico. Esto produce un sellado hermético sin ayuda de la presión del líquido, y compensa en forma automática la desalineación angular de los asientos.

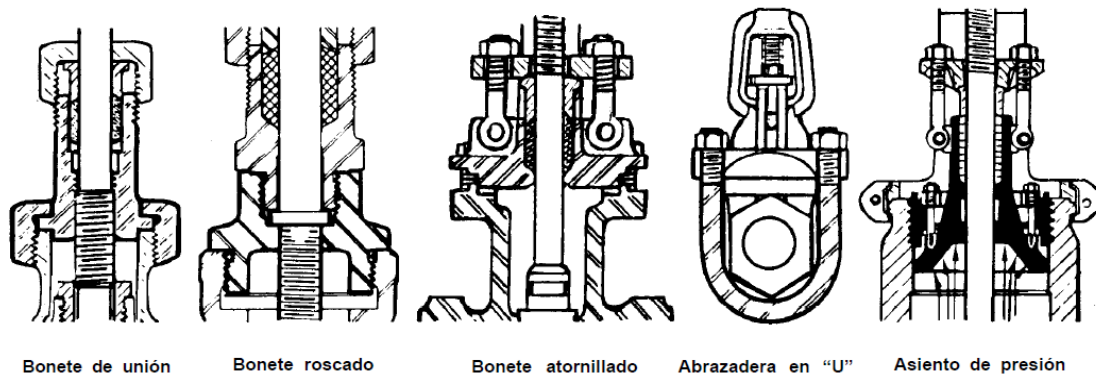
Una parte importante en el diseño de todas las válvulas es el mecanismo de movimiento del elemento de control de flujo. En las válvulas de compuertas se utiliza un vástago que se extiende desde el elemento, es decir, la compuerta hasta el exterior de la válvula. Se utilizan una serie de técnicas para hacer que el vástago mueva la compuerta para abrir y cerrar la trayectoria de flujo.



Diferentes mecanismos de movimiento del elemento de control

El sistema más común es mediante vástago elevable. Este sistema tiene la ventaja de indicarnos visualmente la cantidad de obertura. El otro sistema es sin el vástago elevable, existen dos variables, el primero es con rosca externa y yugo cuya principal ventaja es que la cuerda del vástago no hace contacto con el medio circulante, y se utiliza en altas temperaturas o en fluidos corrosivos. La otra variante es con rosca interna. Aun así, con las válvulas de compuerta de grandes magnitudes, sería necesario un excesivo número de vueltas del volante para la abertura o cierre de la compuerta. Para estas válvulas, solo existe la solución de aplicar un actuador.

Con las válvulas de compuerta, se deben tener en cuenta el sellado en cuatro zonas, tres de ellas para evitar fugas al exterior, y una de ellas para evitar el escurrimiento de fluido corriente abajo.



Diferentes uniones entre el bonete y el cuerpo

Los sellos contra las fugas al exterior, están en las conexiones de extremo, en la unión entre el bonete y el cuerpo y alrededor del vástago. Los sellos para las conexiones de extremo son idénticos a los utilizados para otros accesorios de la tubería, y se suelen incluir en las especificaciones de la tubería. La unión entre el bonete y el cuerpo es parte del diseño de la válvula y debe ser adecuada para las condiciones del proceso. A menudo, el bonete está construido para facilitar el acceso a los componentes internos desmontables y suele alojar el sello del vástago.

El sello para evitar el escurrimiento del fluido corriente abajo cuando está cerrada la válvula, depende del cierre hermético de la cuña contra un asiento. El tipo de cuña y asiento, dependerá de las presiones y temperaturas que deberán soportar, ya que una mala elección puede provocar deformaciones a las superficies de sellado. Principalmente, es este tipo de válvulas suelen utilizarse los sellos de contacto de metal con metal, o de metal con metal con inserto de material elástico.

El sello de metal con metal produce la máxima resistencia mecánica, pero en contra hay posibilidad de desgaste y pegaduras. La dificultad de mantener el

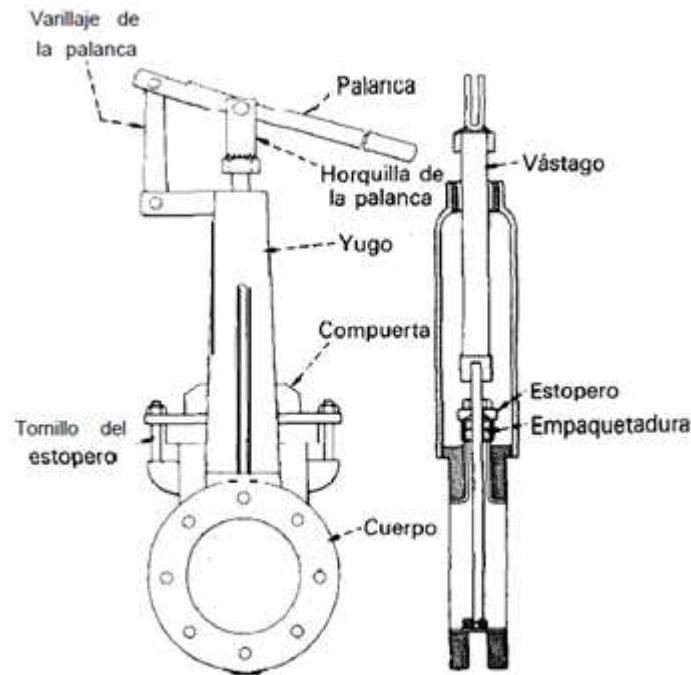
ajuste hermético en este caso es grande, ya que se deben esperar pequeñas fugas después de unos cuantos ciclos de funcionamiento.

El sello de metal con metan con inserto de materia elástico solo es utilizado con presiones y temperaturas que no afecten el material elástico.

La válvula de compuerta ofrece mayor variedad de mecanismos para mover la compuerta. La principal desventaja es su elevado peso y volumen, lo cual provoca que muchas veces se deba optar por otro tipo diferente de válvula por tener un espacio reducido de instalación.

4.2.2.5 Válvulas correderas

Las válvulas correderas son utilizadas para controlar líquidos y gases a baja presión y que no sea necesario un cierre hermético. Debido a que su cavidad no tiene restricciones, se pueden emplear en servicios en que los líquidos o gases que pasan por la válvula tienen alto contenido de sólidos o materiales granulados de libre fluidez.

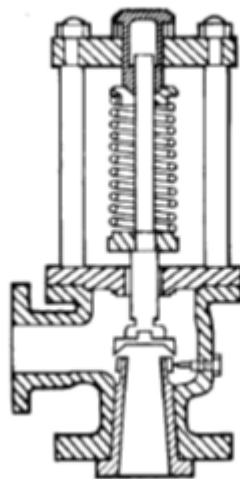


Válvula corredera

La válvula corredera, controla el flujo mediante uno o dos discos que se deslizan entre asientos paralelos en el cuerpo. Cuando están cerrados, la presión del fluido contra la superficie de corriente abajo del disco lo empuja contra el asiento del cuerpo para formar una unión hermética entre la superficie de corriente abajo del disco y su asiento. Cuando está abierta, hay muy poca obstrucción al flujo porque el disco está separado por completo y la caída de presión es mínima. Los materiales de construcción de estas válvulas, incluyen aleaciones con bajo cromo y acero inoxidable.

4.2.2.6 Válvulas de desahogo

En el momento en el que un sistema supera su presión máxima, se hace precisa una descarga de presión o desahogo. La válvula de desahogo de presión, también llamada válvula de seguridad, debido a su sencillez y funcionamiento automático, es de las opciones más seguras para producir el cierre cuando ocurre una sobre presión. La presión de diseño del sistema que se va a proteger con la válvula de desahogo, determinara la presión de graduación de esta.



Válvula de seguridad

El cometido de la válvula de seguridad, es detectar un aumento de presión y prever una trayectoria para la salida del material que hay en el sistema. El aumento de presión se detecta con un sistema de equilibrio de fuerzas que

consisten en que la presión del proceso actúa en una superficie determinada en contra de un resorte o peso.

La válvula de seguridad directa con carga de resorte, suele tener cuerpo en ángulo. La conexión de entrada es la requerida para la presión y temperatura de corriente arriba, la conexión de salida, y el bonete, están diseñados para presiones más grandes que el de entrada para permitir la dilatación del medio circulante. El orificio de entrada, aloja al disco y asiento de la válvula. El disco casi siempre está bajo carga de resorte, y el vástago le transmite la fuerza.

La presión de graduación o calibración de la válvula de desahogo se determina con el resorte y su tornillo de compresión a la carga correcta. Los resortes están agrupados por tamaños y capacidades de modo que las espirales permitan el recorrido total de la válvula. La carga del tornillo, no debe exceder la fuerza del medio circulante cuando la válvula está abierta del todo. El resorte está alojado en el bonete de la válvula.

La contra presión en la salida de la válvula de desahogo, puede aumentar o disminuir la presión de graduación según sea el diseño de la válvula. Si la contrapresión es de acuerdo con el diseño de la válvula, no se debe intentar compensarla con el aumento o reducción de la carga del resorte sin antes consultar con el fabricante.

4.2.2.7 Válvulas de diafragma

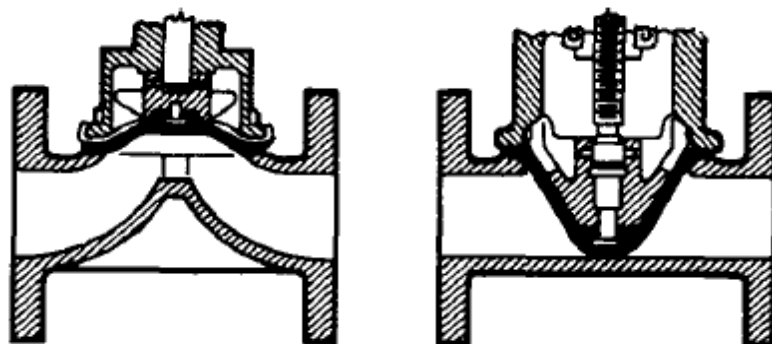
Las válvulas de diafragma tienen como principal uso el inicio y parada de flujo y la estrangulación. Estas válvulas, aíslan el líquido que se maneja del mecanismo de operación. Los líquidos no pueden tener contacto con las piezas de trabajo ya que causarían corrosión. Cuando se abre la válvula, se eleva el diafragma fuera de la trayectoria de flujo y el líquido tiene un flujo suave y sin

obstrucciones. Cuando se cierra la válvula, el diafragma asienta con rigidez contra un vertedero o zona circular en el fondo de la válvula.

Este tipo de válvula, suele usarse para bajas presiones y con pastas aguadas que obstruirían o corroerían las piezas funcionales de la mayor parte de otros tipos de válvulas. Sus elementos principales son el bonete, el cuerpo y el diafragma flexible. Existen dos tipos de cuerpos, el rectilíneo y el vertedero.

El cuerpo rectilíneo, tiene el mismo diámetro interior que el de la tubería y tiene la necesidad de carreras más largas, lo cual provoca que no esté tan usada como el otro cuerpo ya que los plásticos no pueden soportar carreras largas.

El cuerpo de vertedero, también nombrado Saunders, es preferible para usos de estrangulación, aunque produce cierres herméticos. Esta válvula tiene la carrera más corta y esto le permite el empleo de materiales más duros para el diafragma.



Válvula de diafragma

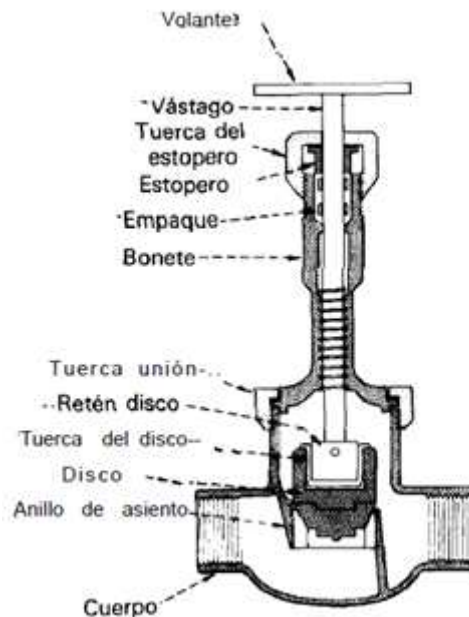
Los vástagos de las válvulas de diafragma no son giratorios, solo se mueven verticalmente con la ayuda de un pistón de compresión. Lo más común es no usar empaquetaduras, por lo que se reduce el mantenimiento, pero para productos peligrosos o corrosivos se utiliza un bonete con empaquetadura.

Las válvulas de diafragma se fabrican con muy diversos materiales como el acero fundido, acero inoxidable etc. Los extremos de la válvula suelen ser roscados, soldados o con bridas.

4.2.2.8Válvulas de globo

Las válvulas de globo, tienen como principal función el cortar o regular el flujo. Las principales características de los servicios de las válvulas de globo incluyen operación frecuente, estrangulación al grado deseado de cualquier flujo, alta resistencia y caída tolerable de presión, pero en contra en cambio de dirección en su interior de flujo desgasta mucho sus asientos.

Los elementos principales de este tipo de valvas son el volante, el vástago, el bonete, los asientos, el disco y el cuerpo.

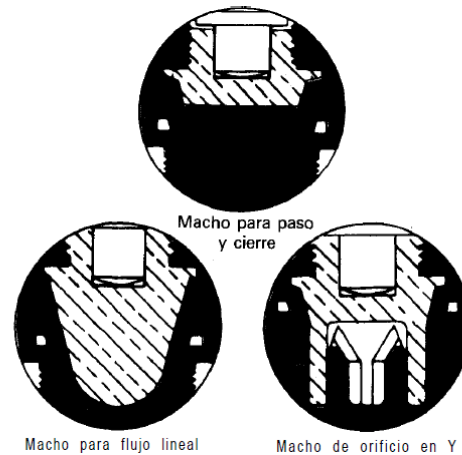


Válvula globo

Este tipo de válvulas tiene una gran cantidad de variantes, pero todas ellas tienen en común su construcción interna. Esta construcción, consiste en un disco o macho que se mueve dentro del cuerpo de la válvula y acopla con un asiento para el cierre. En su interior suele haber una trayectoria del flujo tortuosa, incluso con cambios de 90° en su dirección. La gran mayoría son unidireccionales, señalada su dirección con una flecha fundida en su cuerpo. En su interior se suelen producir caídas de presión elevadas. Para contrarrestarlas, muchos fabricantes las ofrecen en forma de Y o en ángulo.

Las válvulas de globo de operación manual, tienen un disco o un macho que se acopla con un anillo de asiento metálico. Este disco puede ser todo metálico o tener un inserto elástico. En caso de ser metálico, el disco suelen tener una superficie de asentamiento cónica o esférica que hace contacto lineal con el asiento. En caso de disco con inserto elástico, tienen una superficie de sellado plana al igual que su asiento. Estos insertos consiguen el cierre hermético. Sin embargo, no son aptos para trabajar en estrangulación.

Los asientos de las válvulas de globo, pueden ser integrales con el cuerpo o atornillados y reemplazables. Si las presiones alcanzadas no son muy elevadas y trabaja en cortar e iniciar el flujo, es preferible un asiento elástico. Ya que, en caso de atrapar una partícula entre el disco y el asiento, hay menos posibilidades de rotura del sello.



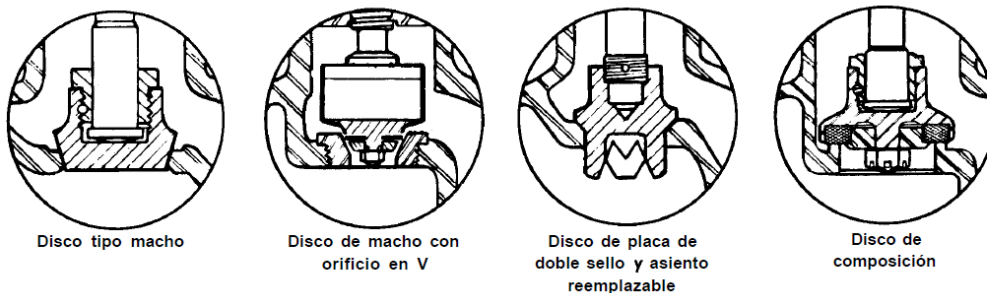
Las válvulas de globo se construyen con una amplia variedad de materiales: Bronce, hierro fundido, acero forjado, acero fundido, acero inoxidable, latón... Las uniones en los extremos del cuerpo de la válvula pueden ser con brida, soldados, o con rosca.

Este tipo de válvulas tiene la posibilidad de trabajar en el control de flujo de tres formas diferentes.

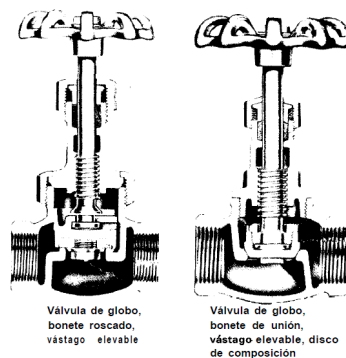
La primera forma, es utilizando un disco de composición. Este disco tiene una cara plana que se oprime contra una superficie metálica anular, de asiento plano. Este disco, aunque no se recomienda para el vapor, gasolina y otros líquidos, produce un corte positivo para gases y aire.

La segunda forma, es utilizando un disco metálico. Este disco tiene un contacto lineal con la superficie de asentamiento troncocónico o esférico. Este sistema no es recomendable para servicios de estrangulación, pero produce un corte positivo para los líquidos. En caso de la posibilidad de acumularse depósitos en los asientos, esta sería la mejor elección.

La tercera y última forma, es utilizando un disco del tipo macho. Este disco tiene un contacto más amplio con el asiento gracias a su forma alargada, troncocónica, que permite que este disco se pueda emplear en servicios de estrangulación. Sin embargo, tiene la desventaja de erosionarse y corroerse fácilmente.



Los sistemas manuales para mover el disco, son los mismos que el de las válvulas de compuerta. Los más usados son el vástago elevable con rosca interna, el vástago elevable con rosca externa, y el vástago deslizante para apertura y cierre rápidos.



Las válvulas de globo de operación manual, tienen un disco o un macho que acoplan con un anillo de asiento metálico. El disco puede completamente de metal, o tener un inserto elástico. El sello elástico se hace al oprimir una superficie metálica contra una de caucho o plástico. Cuando el servicio no es severo o la presión no es alta, este tipo de sello produce un cierre hermético y es deseable en particular para líquidos que contengan partículas de sólidos. Cuando se atrapa una partícula entre las superficies del sello, se las comprime contra la superficie blanda y no interfiere con el cierre. El sello elástico, no es tan adecuado como el de metal con metal cuando se necesita estrangulación.

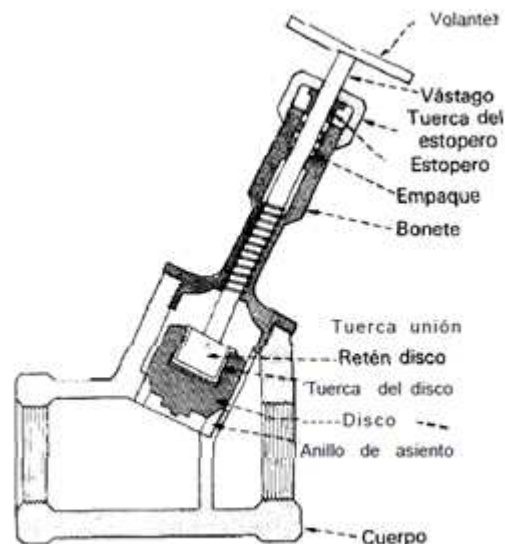
Las válvulas de globo de control automático son algo distintas de las de operación manual. El movimiento lineal del vástago lo produce directamente el actuador en lugar de que sea con roscas. Se puede utilizar machos con asiento sencillo o doble. El asiento y macho pueden ser de acero inoxidable y pueden tener un revestimiento duro para servicios con gran caída de presión, o que produzcan erosión.

Las válvulas de globo de control automático de cuerpo dividido tienen como ventaja principal la adaptabilidad para ser deslizada en las bridas. Además, un cuerpo podrá trabajar a diferentes presiones mediante la adición de las bridas adecuadas.

Para disminuir la caída de presiones en las válvulas de globos, podemos tener en cuenta dos variantes, la válvula de globo en forma de Y, y la válvula de globo en ángulo.

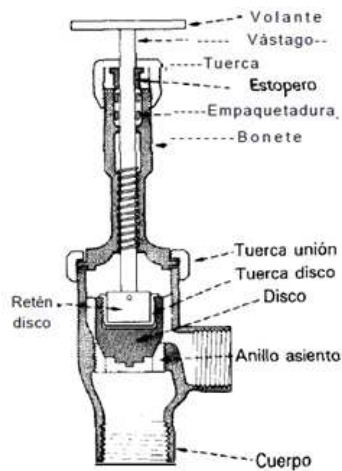
- La válvula en forma de Y, posee el orificio para el asiento en 45° con sentido del flujo. Consecuentemente, se obtiene una trayectoria más lisa, similar a las de las válvulas de compuerta y se da una menor caída de presiones. Los principales elementos de esta válvula son el vástago, disco y anillo de asiento, como en las válvulas de globo. Los materiales

con que se fabrican, y sus tamaños, son los mismos que la válvula de globo convencional.



Válvula en Y

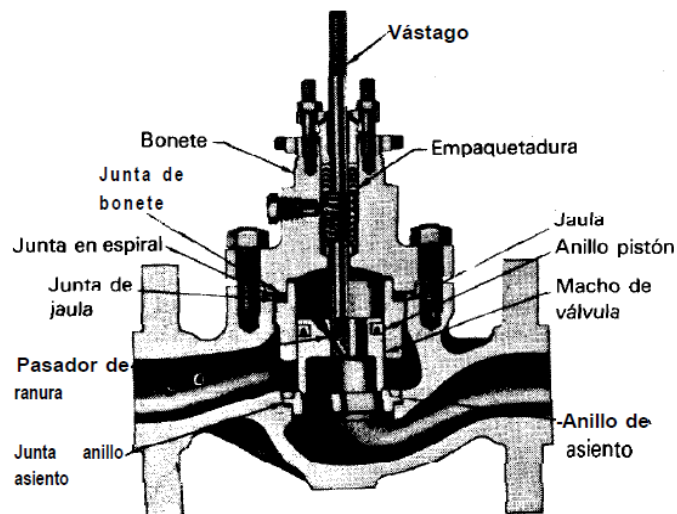
- Las válvulas en ángulo, tienen las conexiones en ángulo recto. Su uso principal es para servicios de estrangulación, y presentan menos resistencia al flujo que las de globo. Los principales elementos son el vástago, disco y anillos de asiento. El eje del vástago está alineado con uno de los extremos. La forma en ángulo recto del cuerpo, elimina el uso de un codo porque el flujo en el lado de entrada esta en ángulo recto con la del lado de salida.



Válvula en ángulo

4.2.2.9 Válvulas de jaula

Las válvulas de jaula, consisten en un cuerpo con orificio de venturi y anillo de asiento, una bola para efectuar el cierre y una jaula con un vástago para mover la bola con relación al orificio. En la posición cerrada, la bola asienta contra el orificio de salida y se sostiene por el empuje de la jaula, y la presión corriente arriba en la tubería.



Válvula de jaula

En este tipo de válvulas, al abrirse dos de las cuatro superficies inclinadas de la jaula, levantan la bola del asiento y la hacen girar sobre el borde del anillo del asiento. La apertura adicional hace que la bola ruede sobre las dos superficies inclinadas hacia el centro de la jaula, en donde descansa en las cuatro superficies. La bola se mantendrá en esta posición hasta cerrarse la válvula.

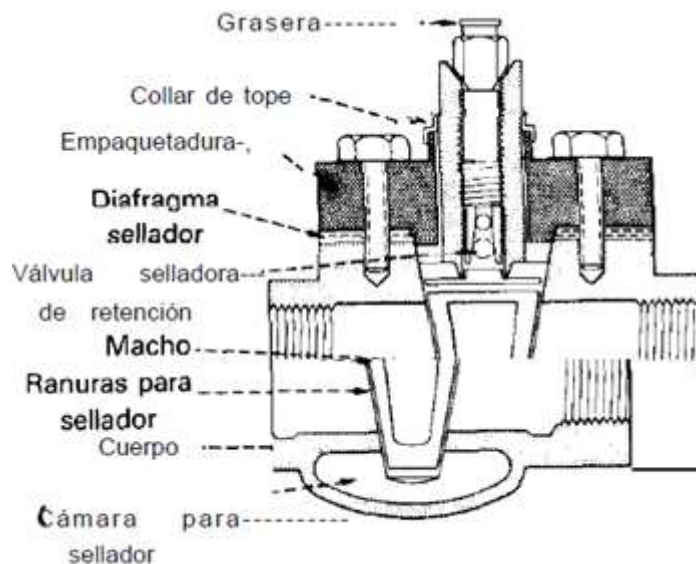
La jaula, está proyectada para producir obstrucción mínima cuando está abierta, pudiendo llegar a elevar la bola completamente fuera de la trayectoria de flujo. La abertura en el asiento de la válvula, tiene forma de media luna que se agranda conforme la jaula levanta la bola. El flujo es casi lineal, y permite la estrangulación en una amplia gama. La hermeticidad de la válvula se mantiene durante largo tiempo porque la acción giratoria de la bola produce una nueva superficie de asentamiento después de cada rotación. No se utiliza el anillo de asiento de corriente arriba, y el cuerpo se puede invertir para utilizar el anillo de sección cuadrada si se gasta el otro. Las fuerzas de apertura y cierre son muchos menores que para una válvula de globo comparable, sin embargo, el recorrido de la válvula es, cuando menos, igual al diámetro de la garganta, ya que hay que elevar la bola fuera de la trayectoria de flujo.

El orificio de venturi de la válvula reduce la turbulencia y ofrece algunas ventajas al manejar líquidos que puedan producir cavitación, o vaporización instantánea. Si hay cavitación, se dará en el lado de salida más allá del anillo de asiento, en donde se pueden utilizar con eficacia superficies de alta dureza o camisas reemplazables. La descarga en expansión de la válvula, retiene con eficacia los líquidos de vaporización instantánea.

4.2.2.10 Válvulas de macho

La válvula de macho es la válvula más antigua, incluso en las ruinas de Pompeya, se han encontrado válvulas de macho de bronce. Las válvulas de macho, al igual que las de compuertas modernas, se utilizan para iniciar o para el flujo.

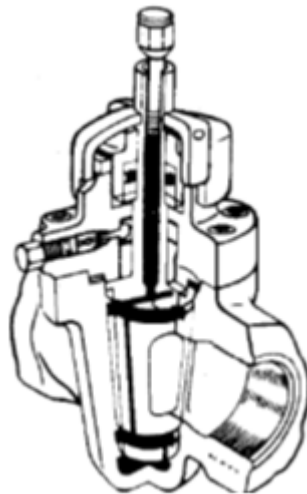
Este tipo de válvulas están formadas por un cilindro o macho introducido en una cavidad correlativa en el cuerpo de la válvula, y se han utilizado durante muchos años para servicios de agua. Actualmente, se utiliza de cierre y paso de flujo, y algunas variantes para estrangulación. Al igual a la válvula de mariposa con un cuarto de vuelta del vástago, la válvula pasa de cierre a obertura total. En el momento que la válvula está totalmente abierta, no presenta obstrucciones a la circulación, con lo que la caída de presión es mínima.



Válvula macho

Los componentes principales son: El cuerpo, el macho y la tapa. El macho es cónico o cilíndrico, y tiene un conducto por el cual circula el líquido. En la posición abierta, la cavidad en el macho conecta los extremos de entrada y salida de la válvula y permite flujo lineal.

Las válvulas de macho lubricadas, se utilizan mucho en la industria petrolera. Se aplica el lubricante a presión con una pistola por medio de una válvula de retención y los conductos en el macho hasta la superficie de asentamiento, lo cual ayuda a tener cierre hermético con asientos metálicos, inhibiendo además la corrosión. Cuando no se puede permitir la contaminación de los productos, se utilizan válvulas sin lubricación, El macho gira dentro de una camisa de teflón que impide las pegaduras y también actúa como sello.



Renuras de lubricación y cojinete en valvulas macho

Además de la válvula macho de un solo orificio también podemos encontrar las siguientes variantes:

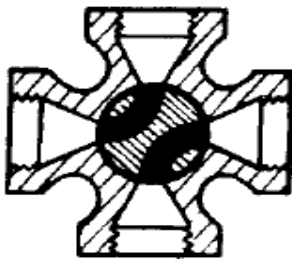
La válvula macho de múltiples orificios, para la desviación o mezclado del material circulante.

La *válvula macho con orificio en V*, empleada en servicios de pasta aguada, en las industrias químicas y de papel. La abertura en el cuerpo y el macho, tienen forma de V con lo que la zona para la circulación tiene forma de rombo. Al cerrar, la acción cortante entre el macho y el asiento, limpia la superficie de asentamiento. Esto y la trayectoria de libre paso, permiten utilizar válvulas con pastas aguadas fibrosas.

Las válvulas pueden dividirse en dos grandes grupos: Las válvulas macho lubricadas, y las no lubricadas. Las lubricadas, evitarán fugas entre la superficie del macho y el asiento en el cuerpo, y reducirán la fricción durante la rotación. En las no lubricadas, el macho deberá tener un revestimiento que eliminará la necesidad de lubricación.

Las válvulas macho pueden tener varios tipos diferentes de orificios: Un orificio redondo completo, un orificio rectangular, un orificio venturi (que posee

aberturas redondas o rectangulares con superficie reducida), y con flujo de venturi en el cuerpo, así como con orificio rombo.



**Circulación en
válvulas de macho**

Toda válvula macho, puede ser fabricada con muchos materiales distintos: Puede estar hecha de bronce, níquel, PVC, acero inoxidable...

Las válvulas macho de tres, o más vías, son muy utilizadas en la industria de procesos químicos. Ofrecen considerables ahorros porque la válvula puede funcionar en muchas instalaciones

para reducir o simplificar la cantidad de tubería. Se puede utilizar una sola de estas válvulas en lugar de dos, tres, o cuatro válvulas rectilíneas, con lo que se reduce el número de conexiones y accesorios.

Las válvulas de orificios múltiples, solo cierran en contra de la presión en el sentido positivo, pues la presión dentro de la válvula empuja al macho contra el orificio. Estas válvulas, no cortan las presiones diferenciales cuando la presión de la tubería es en sentido negativo. La corriente a presión tratara de entrar a la válvula. Todas las demás características son las mismas que con macho rectilíneo.

En las válvulas de un solo orificio, el macho gira 90° desde la posición de apertura total a la de cierre total y se la denomina, a veces, válvula de un cuarto de vuelta. Las válvulas con orificios múltiples pueden girar hasta 270°, según el número y la disposición de los orificios.

En las válvulas de pequeños tamaños, se hace girar el macho por medio de un operador de palanca conectada en el exterior del vástago. La palanca normalmente es en forma de L, pero también se puede encontrar en forma de T. En estas válvulas, los topes suelen ser parte integral de la tapa y es fácil determinar en forma visual la posición del orificio. La palanca está perpendicular con la tubería cuando se cierra la válvula, y queda paralela con ella, cuando se abre la válvula.

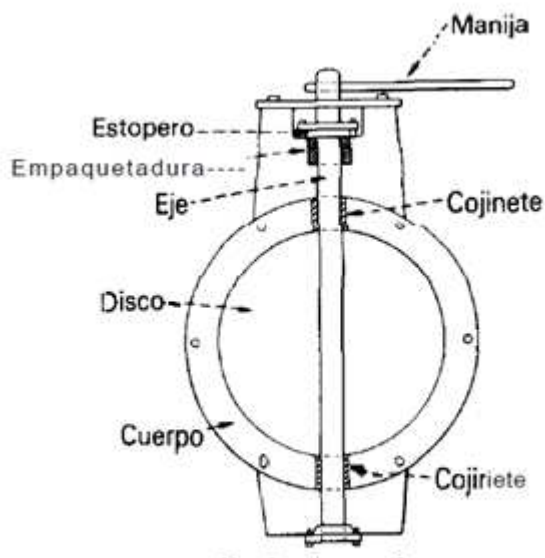
Los puntos que requieren sellado en una válvula de macho son los mismos que de la una válvula de compuerta.

Para sellar, se distinguirán dos tipos de válvula: Las lubricadas y las no lubricadas. Con las lubricadas, al inyectarlas lubricante a presión entre la cara

del macho y el asiento, se evitan fugas. Las válvulas no lubricadas pueden ser de dos tipos, elevables, o con camisa de elastómero. En la elevable, el macho se levanta de forma mecánica, mientras que en las de camisa de elastómero, se aplican como revestimiento.

4.2.2.11 Válvulas de mariposa

Las válvulas de mariposa, son uno de los tipos más antiguos que aún, en la actualidad, se usan. Seguramente su sencillez, bajo peso y coste, y buenas propiedades, sean los factores que han propiciado su mantenimiento en el tiempo. Su cometido principal, es el dar inicio o para el flujo y la regulación del fluido, en circuitos de presiones bajas y grandes caudales.

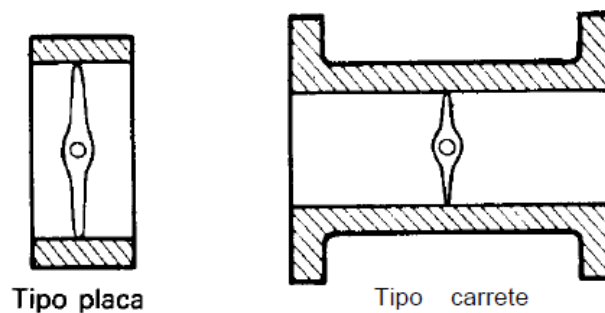


Válvula mariposa

Este tipo de válvulas, son muy adecuadas para servicio de paso y cierre, o de estrangulación, ya que tiene bajas pérdidas por fricción del fluido. En especial su buen funcionamiento las hace ideales para controlar flujos de grandes

volúmenes de gases o líquidos en presiones bajas. Asimismo, sus propiedades las hacen ser una buena elección para líquidos con sólidos en suspensión, ya que no permiten la acumulación de sedimentos. Las válvulas de mariposa son de accionamiento rápido, ya que un cuarto de vuelta de su vástago, moverá el disco de la posición de apertura a cierre total. Los principales inconvenientes de estas válvulas son causadas al material de su asiento y sello, ya que son de elastómeros que les pueden afectar las altas temperaturas. También podemos encontrarlas con sellos de metal con metal, pero no son de cierre hermético.

Los elementos principales de esta válvula son el disco, también llamado aspa, chapaleta u hoja, un eje y un cuerpo con empaquetadura y cojinetes para sellado y soporte. Existe la posibilidad de escoger entre dos cuerpos diferentes. Uno de los cuerpos es el de placa, formado por un anillo macizo, este se atornilla entre las bridas de tubo y ocupa poco espacio, el otro cuerpo disponible es el carrete, este es una varilla continua que soporta el disco.



Tipos de cuerpo de la válvula de mariposa

El flujo de la válvula de mariposa se controla con un disco que tiene un diámetro parecido al diámetro de los tubos que conecta. El vástago pasa a través del disco, apoyado en ambos extremos en el cuerpo y se sujeta al disco con tornillos o pasadores. Al girar 90° el vástago, el disco abre o cierra la

válvula. Para la estrangulación se mueve el disco a una posición intermedia, en la cual se mantiene por medio de un seguro o cierre.

Para este tipo de válvulas tenemos la posibilidad de escoger dos tipos diferentes de sellos:

El primer tipo, es un asiento contra el cual el disco es metálico, lo cual provoca que la válvula sea ideal para el manejo de semisólidos, ya que el material abrasivo no erosiona los asientos.

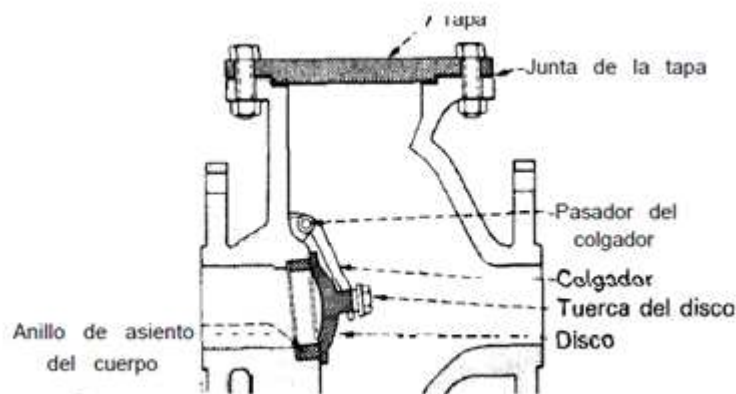
El segundo tipo, es utilizando sellos anulares elásticos alrededor de los discos para tener un cierre a prueba de fugas. Estas válvulas de mariposa de cierre hermético, tienen limitaciones en la temperatura debido al material de asiento de los sellos.

El espesor del disco y eje, es determinado por la caída de presión y la torsión requerida para operar la válvula, cuando más alta sea la caída de presión, mayor torsión requerida. Las válvulas con poca caída de presión y baja torsión, tienen un disco y eje delgados. Las válvulas con ejes y discos gruesos, son para caídas grandes de presión.

4.2.2.12 Válvulas de retención

Las válvulas de retención, son integrales y se destinan a impedir la inversión del flujo en una tubería. La presión del fluido circulante, abre la válvula, el peso del mecanismo de retención, y cualquier inversión en el flujo la cierran. Los discos y componentes móviles relativos a los mismos, pueden estar en movimiento constante si la fuerza de la velocidad no es suficiente para mantenerlas en su posición estable de apertura total. Son de funcionamiento

automático, y se mantienen abiertas por la presión del fluido que circula. El cierre se logra mediante el peso de mecanismo de retención, o por la contrapresión cuando se invierte el flujo.

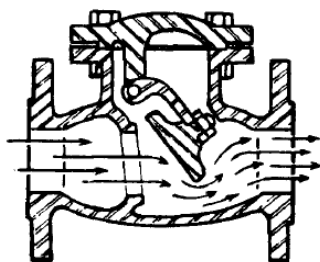


Válvula de retención

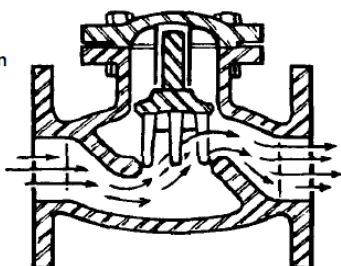
Hay diferentes tipos de válvulas de retención, y su selección depende de la temperatura, caída de presión que producen, y la limpieza del fluido. Las

válvulas de retención las podemos dividir en: Válvulas de bisagra, de disco inclinable, de elevación y de retención de vapor.

Tipo bisagra



Tipo elevación

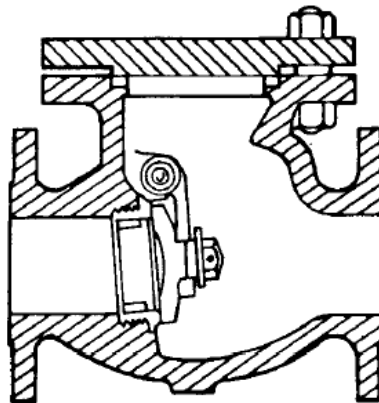


Las válvulas de retención por exceso de flujo, se instalan en la tubería y actúan de forma automática para evitar altos volúmenes de flujo de avance. El disco de la válvula se mantiene abierto con un

resorte. Cuando hay altos volúmenes, la fuerza del líquido es suficiente para vencer el resorte y dejar que cierre la válvula. Un orificio de purga en el disco, permite que se igualen las presiones de corriente arriba y abajo.

Las válvulas de retención se usan en tanques de almacenamiento de líquidos a alta presión para evitar derrames accidentales. Cuando se instala un disco de ruptura debajo de una válvula de desahogo de presión, se utiliza la válvula de retención de exceso de flujo para mantener presión atmosférica entre el disco y la válvula de desahogo. Existen seis tipos de válvulas de retención:

- La válvula de retención de bisagra, tiene una placa abisagra en la parte superior que produce muy poca caída de presión. La placa, puede ser un disco de material compuesto cuando el líquido contiene partículas de sólidos, el ruido es indeseable o si es requerido un cierre hermético.



Válvula de retención tipo bisagra

La válvula de retención de bisagra, consiste en un disco abisagrado colocado sobre un orificio de válvula. Cuando no hay flujo, el disco se mantiene contra el asiento por gravedad o con pesos montados en palancas externas. El flujo en

el sentido normal, hará que el disco gire y se aleje del asiento. Cuando se invierte el flujo, se empuja el disco contra el asiento y retiene la presión diferencial.

Este tipo de válvula funciona por gravedad, cosa que se debe tener en cuenta para instalarla. Normalmente la válvula se coloca horizontalmente, pero en determinados casos se puede instalar en tuberías verticales con flujo ascendente.

La válvula de retención de bisagra con disco dividido es una variante de la anterior. En este caso el cuerpo es un anillo macizo para atornillarlo en bridas de tubo. Las dos partes del disco están embriagadas con un pasador y tienen un reporte para mantenerlas cerradas cuando no hay flujo. Esta válvula no funciona por gravedad, lo cual permite más flexibilidad en la instalación.

Los elementos principales de las válvulas de retención de bisagra, son el cuerpo, disco, pasador oscilante y tapa. Para estas válvulas, podemos escoger entre dos cuerpos, en Y, y rectilíneo y dos discos, metálicos o de composición.

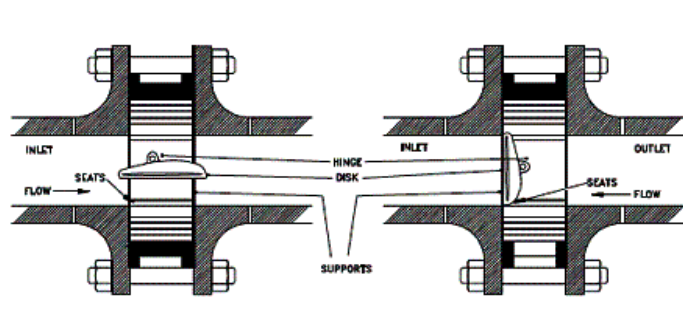
El cuerpo rectilíneo tiene un disco articulado en la parte superior, con lo que la superficie de asentamiento está a un pequeño ángulo, lo cual permite que el disco oscile y se abra con presiones más bajas. Los anillos del asiento se pueden reemplazar.

El cuerpo en Y tiene una abertura alineada con el asiento, que está integrada al cuerpo esto permite rectificar por esmerilado las válvulas que asientan metal contra metal.

Cuando se necesita una relación más rápida a la inversión del flujo, algunas válvulas de retención se pueden equipar con palanca y pesos externos. Esto producirá cierre rápido del disco y reducirá las posibilidades de borboteos y choques. Se ajustan la palanca y los pesos de modo que el disco se abra con la mínima presión, o no se abra hasta que la presión llegue a un valor deseado.

Las válvulas de bisagra pueden ser fabricadas con una gama muy grande diferentes materiales, como bronce, hierro, acero inoxidable etc. La unión entre tubo y válvula puede ser de rosca, soldado o con bridas.

- La válvula de retención de disco inclinable, es similar a la de bisagra. Hay baja resistencia al flujo debido a su diseño rectilíneo. Estas válvulas consisten en una cubierta cilíndrica que tiene un disco pivotado. El disco se separa con facilidad del asiento para abrir la válvula. Los toques para el disco, integrados al cuerpo, sirven para colocar éste y obtener un flujo óptimo cuando está abierto. Cuando el flujo disminuye, el disco empieza a cerrar porque se inclina a un ángulo creciente con la trayectoria de flujo. Esta válvula de retención, tiene poca caída de presión a baja velocidad y mayor caída en alta velocidad.

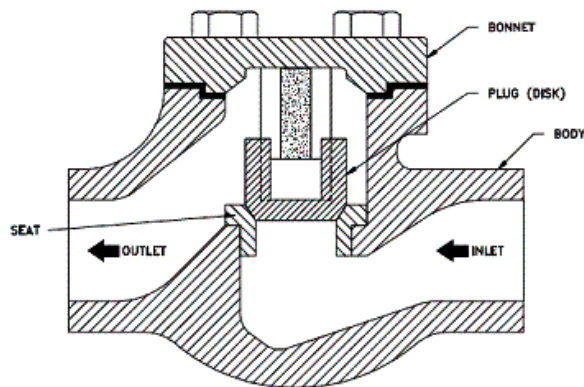


La unión pivotante del disco se encuentra justo encima del centro y está descentrada del plano del cuerpo. Este diseño disminuye el recorrido del disco,

y reduce la fuerza de cierre, cosa que reduce al mínimo el golpeteo. Cuando se esperan flujos inversos a alta presión, se pueden equipar las válvulas con amortiguador de cierre en el disco para controlar el cierre.

Las válvulas de disco inclinable se fabrican con diferentes materiales como el acero al carbono, hierro fundido, acero inoxidable, aluminio, bronce y aleaciones resistentes a la corrosión.

- Las válvulas de retención por elevación, funcionan por gravedad y son para instalaciones horizontales o verticales, pero no intercambiables. La válvula con cuerpo de globo se puede instalar verticalmente. En las válvulas horizontales de retención, se eleva un disco o bola dentro de sus guías desde el flujo, el disco vuelve a asentarse por gravedad. Su construcción interna es similar a la de las válvulas de globo.

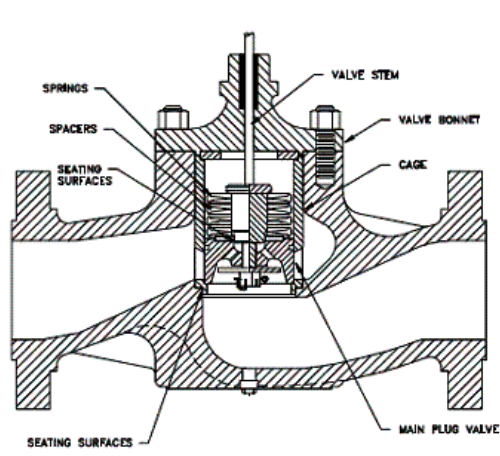


Válvula de retención de elevación.

Algunas válvulas de retención de elevación tienen resortes para asegurar un asentamiento positivo, pero aun así estas válvulas requieren caídas de presión bastante elevadas. Estas válvulas hacen mejor su cometido que las de

retención de bisagra, en situaciones que es común inversiones de flujo, ya que estas tienen un muelle para amortiguar el golpe del disco.

- Las válvulas de retención de pistón funcionan de la siguiente manera: El pistón está retenido con guías en la válvula se levantan con la circulación. Con flujo inverso, se empuja al pistón contra el asiento para cortarlo. Esta válvula es adecuada para servicios en donde ocurren frecuentes inversiones de flujo. Esta válvula es adecuada para servicios en donde ocurren frecuentes inversiones de flujo y es, quizá, la única que se ha utilizado con éxito en aplicaciones en donde alterna el flujo. La caída de presión es mucho mayor que sus semejantes.



Válvula de retención de pistón

- Las válvulas de retención de disco funcionan de la siguiente manera: el disco, bajo carga del resorte, tiene casquillos de guía y se puede instalar en cualquier posición. En estas válvulas se utilizan dos tipos principales de discos: discos de composición y disco metálico que puede esmerilar. El disco de composición, se presta para cierre hermético y está provisto de un sujetador para mantener la alineación. Los discos esmerilables tienen guías para alineación, y suelen ser de metal, usualmente acero.

- Las válvulas de retención de bola son similares a la de pistón, pero en este caso se utiliza una bola de rotación libre para distribuir el desgaste en toda la superficie. En estas válvulas, en lugar del disco guiado, se utiliza una bola o balín de libre rotación para distribuir el desgaste con mayor uniformidad en toda la superficie.



Válvula de retención de bola

4.2.2.13 Selección de válvulas

La selección de las válvulas incluye muchos factores y es preferible tener como referencia un sistema parecido que facilite la selección. Los principales parámetros a tener en cuenta para la elección de las válvulas son: El tipo de válvula, el material de construcción, las capacidades de presión y temperatura, el material de empaquetadura, juntas, y el precio de adquisición.

El tipo de válvula dependerá de su principal función, es decir si trabajara en estrangulación, corte o iniciación de flujo o para impedir la circulación del flujo. Dado que hay diversos tipos de válvulas disponibles para cada función, también será necesario determinar las condiciones del servicio en que se emplearan las válvulas. Según lo nombrado anteriormente se deberá tener en cuenta lo siguiente:

- Sobre la función de la válvula:
 - Válvula de bloqueo
 - Válvula de retención
 - Válvula de estrangulación

- Sobre el tipo de servicio:
 - Líquidos
 - Gases
 - Líquidos con gases
 - Líquidos con sólidos
 - Gases con sólidos
 - Vapores generados instantáneamente por la reducción de presión
 - Con corrosión o sin corrosión
 - Con erosión o sin erosión

Una vez determinada la función y el tipo de servicio se puede seleccionar la válvula. A menudo, hay más de un tipo de construcción apto para una función específica. Las características principales y usos más comunes de los diversos tipos de válvulas para servicio de bloqueo o cierre son:

- *Válvulas de bola*: no hay obstrucción al flujo. Se utilizan para líquidos viscosos y pastas aguadas. Cierre positivo. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.
- *Válvulas de compuerta*: Resistencia mínima al fluido de la tubería. Se utiliza totalmente abierta o cerrada.
- *Válvulas de mariposa*: Su diseño de disco abierto, rectilíneo, evita cualquier acumulación de sólidos, tiene una caída de presión muy pequeña.

Las características principales y usos más comunes para diversos tipos de válvulas para servicio de estrangulación:

- *Válvulas de aguja*: Estas válvulas tiene un macho cónico similar a una aguja, que ajusta con precisión en su asiento. Se consigue una estrangulación exacta en volúmenes pequeños porque el orificio formado entre el macho cónico y el asiento cónico se puede variar a intervalos pequeños y precisos.
- *Válvulas de globo*: Tienen un uso poco frecuente. Cierre positivo. El asiento suele estar paralelo con el sentido de flujo, produce resistencia y caídas de presiones considerables.
- *Válvulas de mariposa*: Se usa principalmente para grandes volúmenes de gases y líquidos a baja presión. Su diseño de disco abierto evita la acumulación de sólidos no adherentes y produce poca caída de presión.
- *Válvulas en Y*: Son válvulas de globo que permiten el paso rectilíneo y sin obstrucción igual que las válvulas de compuerta. Su gran ventaja respecto su hermana es su menor caída de presión.

Las válvulas que no permiten el flujo inverso, actúan de forma automática ante cambios de presión para evitar que se invierta el flujo.

Los materiales de construcción, se tienen en cuenta después de la elección de la función y el tipo de válvula. Toda parte de la válvula que está en contacto con el fluido debe ser resistente a la corrosión que les puede producir éste. Para seleccionar que tipo de material se deberán tener en cuenta los materiales recomendados por el fabricante; si no tuviéramos esta información se deberían hacer pruebas en el laboratorio. Sin embargo, los datos publicados no se deben considerar como definitivos para los materiales incluidos, ya que otras condiciones en el servicio real pueden influir en la rapidez de la corrosión. Un ejemplo de lo comentado anteriormente, sería la presencia de sales disueltas, contaminantes del proceso, y de diferentes compuestos del proceso, altas velocidades del fluido, la presencia de abrasivos... El efecto de los factores no se puede determinar por completo, excepto cuando se cuenta con datos de una unidad o sistema idénticos.

Consecuentemente, aunque los datos publicados de corrosión resultaran válidos, solo se podrá tener una certidumbre completa con la experiencia.

En caso de no disponer de experiencia ni datos aplicables en forma directa, se deberá examinar y analizar lógicamente los datos acerca de las composiciones y condiciones para los fluidos. Esto implica cierto riesgo, que se debe ponderar en contra del costo adicional de empleo de un material más confiable. Si el costo de la válvula es importante y el servicio tiene requisitos críticos, entonces, se debe efectuar un programa de pruebas de materiales con, o sin la ayuda del fabricante.

Las capacidades de presión y temperatura se establecerán una vez todo lo anteriormente comentado se haya efectuado. Se deberá comparar su selección con las listas de los fabricantes respecto a las capacidades de presión y temperatura con el fin de asegurarnos que se ajustan a ella. Como una guía para la selección del material de la válvula tomando como base la presión, existen tablas donde se presentan las capacidades de presión de diferentes materiales disponibles para las distintas válvulas como la que encontraran en los anexos.

Los materiales de las empaquetaduras y juntas son tan importantes como los materiales de la válvula en sí. La selección de la empaquetadura inadecuada puede provocar fugas y requerir una parada del sistema para reemplazarla. Además, si el fluido es tóxico, o inflamable, las consecuencias aún pueden ser mayores.

Los costos de una parada del sistema son fáciles de evitar si seleccionamos el material ideal para la empaquetadura. Esta elección la efectuaremos con la ayuda de los datos de los fabricantes de empaquetaduras. También, se debe

tener en cuenta la forma de esta, ya que debe ser compatible con las características mecánicas de la válvula.

El costo y disponibilidad será importante si encontramos más de un tipo de la válvula válida para el servicio.

4.2.3 Intercambiadores de calor

Un intercambiador de calor es un equipo utilizado para enfriar un fluido que está más caliente de lo deseado, transfiriendo este calor a otro fluido que está frío y necesita ser calentado. La transferencia de calor se realiza a través de una pared metálica o de un tubo que separa ambos fluidos.

Las aplicaciones de los intercambiadores pueden ser muy variadas y reciben diferentes nombres:

- *Intercambiador de calor*: Realiza la función doble de calentar y enfriar dos fluidos
- *Condensador*: Condensa un vapor o mezcla de vapores
- *Enfriador*: Enfría un fluido por medio de agua
- *Calentador*: Aplica calor sensible a un fluido
- *Rehervidor*: Conectado a la base de una torre fraccionadora proporciona el calor de reebullición que se necesita para la destilación
- *Vaporizador*: Un calentador que vaporiza parte del líquido

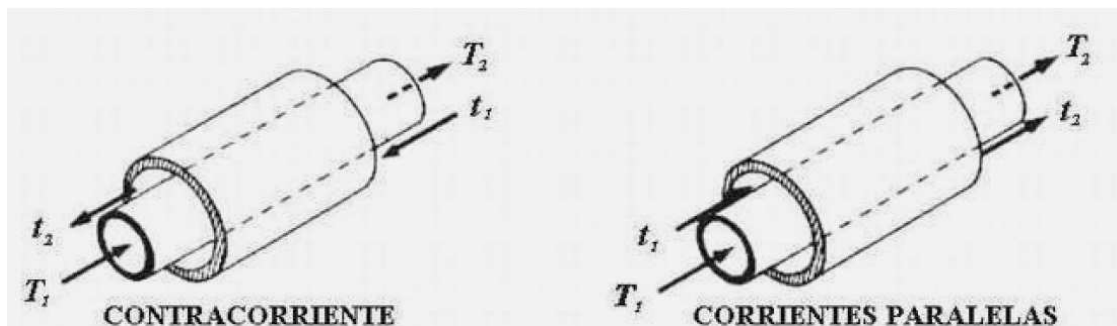
Al tener unas funciones tan variadas, también tendremos todo tipos diferentes de intercambiadores de calor.

4.2.3.1 Clasificación de los intercambiadores de calor

La clasificación de los intercambiadores de calor puede ser según dos valores, según su forma, o según el recorrido de los fluidos.

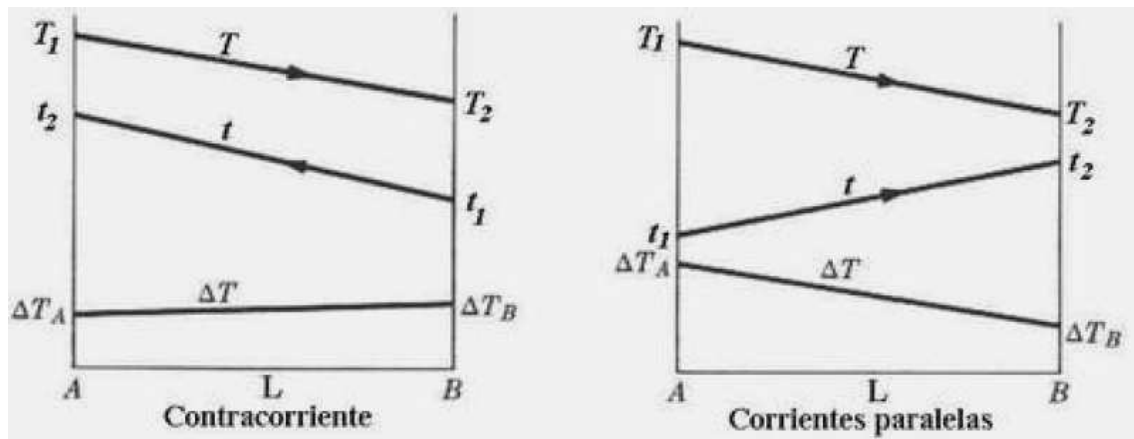
4.2.3.1.1 Clasificación según el recorrido de los fluidos

En la clasificación según el recorrido de los fluidos se pueden observar dos tipos diferentes, los intercambiadores que trabajan en contracorriente, o en corrientes paralelas.



Esquema de intercambiadores donde T_1 y t_1 son temperaturas de entrada y donde T_2 y t_2 de salida.

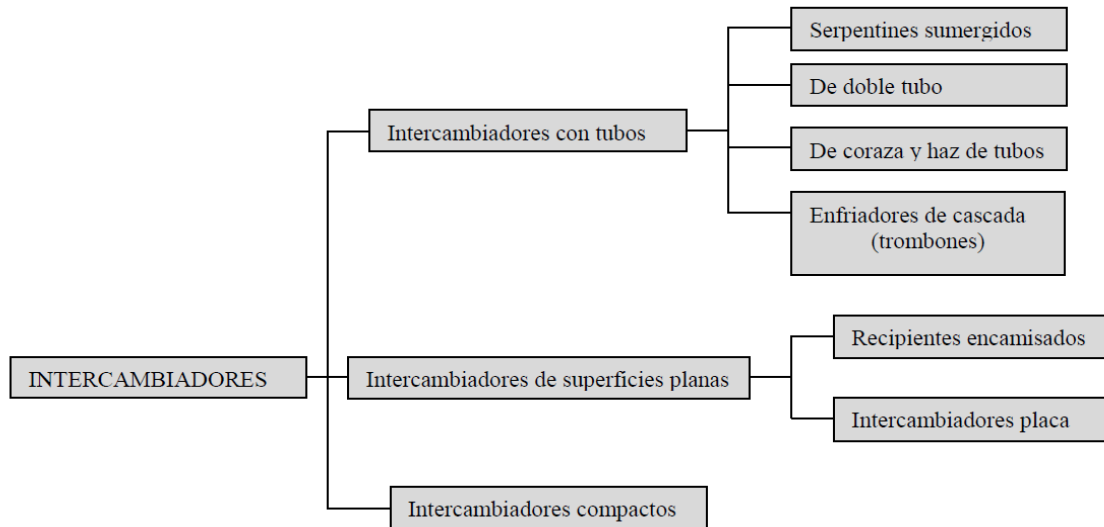
Entre estas dos variantes de intercambiadores, hay muchas diferencias en las transmisiones de calor como se puede observar en las tablas siguientes.



En estas tablas, la T_1 es la temperatura de entrada del fluido caliente, mientras T_2 la de salida. La t_2 es la temperatura de salida del fluido frío, y la t_1 de entrada. Esta situación, es la que describe el intercambio de calor sin cambio de fase de ninguna de las dos corrientes. En cualquiera de las dos opciones, la variación de una o ambas temperaturas puede ser lineal, como se representan en los esquemas anteriores, pero no suele ser. En caso de elección, si los dos tienen igualdad en todos los factores, la mejor opción sería en contracorriente.

4.2.3.1.2 Clasificación según la forma

La clasificación según la forma puede ser muy extensa, ya que muchas industrias han diseñado intercambiadores muy particulares para funciones muy puntuales. Pero aun así, de una forma general la clasificación sería la siguiente:



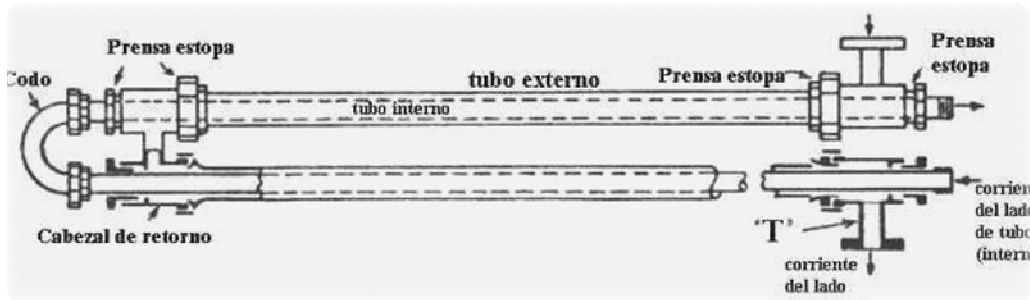
A continuación, se explicarán únicamente, los intercambiadores con utilidades en la marina.

4.2.3.1.2.1. Intercambiadores de tubo

Estos intercambiadores son los más comunes y se pueden dividir en cuatro tipos diferentes, serpentines sumergidos, de doble tubo, de coraza y haz de tubos y enfriadores de cascada.

- El intercambiador de serpentín, es un simple tubo que se dobla en forma helicoidal y se sumerge en líquido. Su uso más común es para tanques. Gracias a su bajo coste y rápida construcción se improvisa fácilmente con materiales abundantes en cualquier taller de mantenimiento. Este tipo de intercambiador, suele emplear tuberías de tres cuartos a dos pulgadas.
- El intercambiador de doble tubo, es el tipo más simple que se puede encontrar de tubos rectos, únicamente consiste en dos tubos

concéntricos, lisos o aleteados. Normalmente, el fluido frío se coloca en el espacio anular y el fluido cálido va en el interior del tubo interno.



Intercambiador de calor de doble tubo.

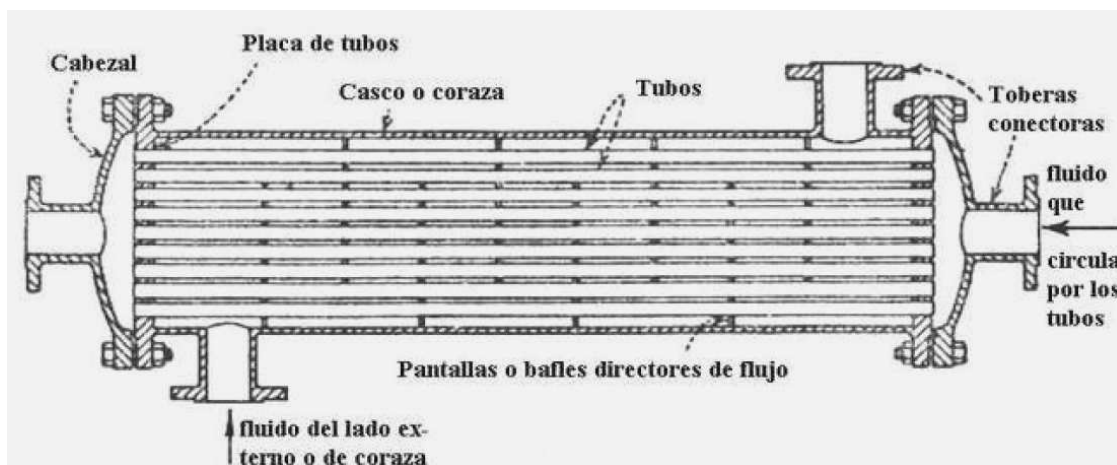
Este intercambiador, está formado por varias unidades como las mostradas en el dibujo anterior, y cada una de ellas es nombrada horquilla. Las uniones de este tipo de intercambiador, suelen ser con bridas o enroscadas aunque se pueden encontrar soldadas. El flujo en él es contra corriente menos si trabajan en grandes caudales, ya que en contracorriente puede haber un 20% más de transferencia calorífica.

Las longitudes de la horquilla máximas son de 18 a 20 pies, si se superan estas cifras el tubo interno se dobla y varia el espacio anular, causando mala distribución del flujo y, consecuentemente, la transferencia de calor.

Sus principales ventajas son las siguientes: son flexibles, fáciles de armar y mantener. La cantidad de superficie útil de intercambio es fácil de modificar para adaptar el intercambiador a cambios en las condiciones de operación, solo es necesario conectar un número determinado de horquillas. No requieren de mano de obra especializada para el mantenimiento, y los repuestos son fácilmente intercambiables y obtenibles en poco tiempo.

Existe una variante de intercambiador de doble tubo, remplazando el tubo interior único por una cantidad pequeña de tubos finos, como en los intercambiadores de tubo y coraza, aumentado así la superficie de intercambio de calor. Las principales diferencias entre este tipo de intercambiador y el intercambiador de tubo y coraza son: la relación de espacio de tubos y diámetro de tubos interno, en el caso de estos es menor, los intercambiadores de horquillas no pueden tener largos de tubos mayores a los de coraza y tubo.

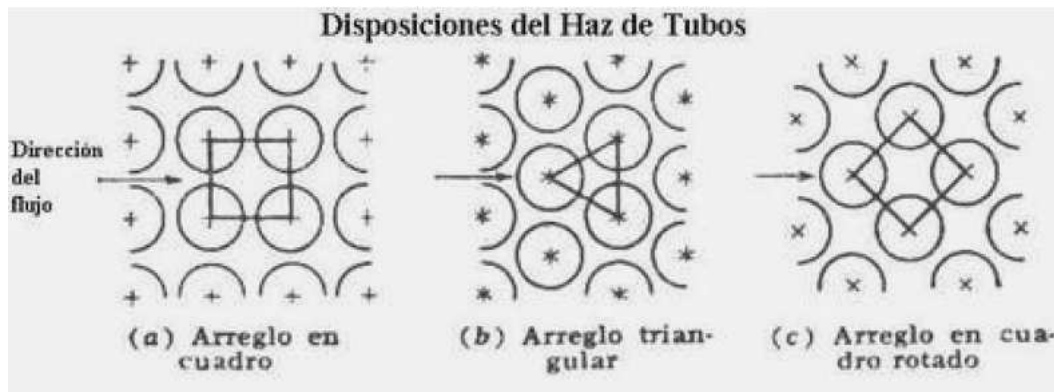
- Los intercambiadores de tipo haz de tubo y coraza se usan para servicios en los que requieren grandes superficies de intercambio, es decir, con caudales mayores a los utilizados por los intercambiadores de doble tubo.



Intercambiador de tipo haz de tubo y coraza

En la imagen anterior se puede observar como el fluido que circula por el interior del haz tubular ingresa por uno de los cabezales y se distribuye por los orificios de la placa en el haz tubular, mientras el fluido que circula por el interior de la carcasa sigue una trayectoria tortuosa por el efecto de las pantallas o tabiques deflectores. El flujo en la coraza es casi perpendicular al haz de tubos.

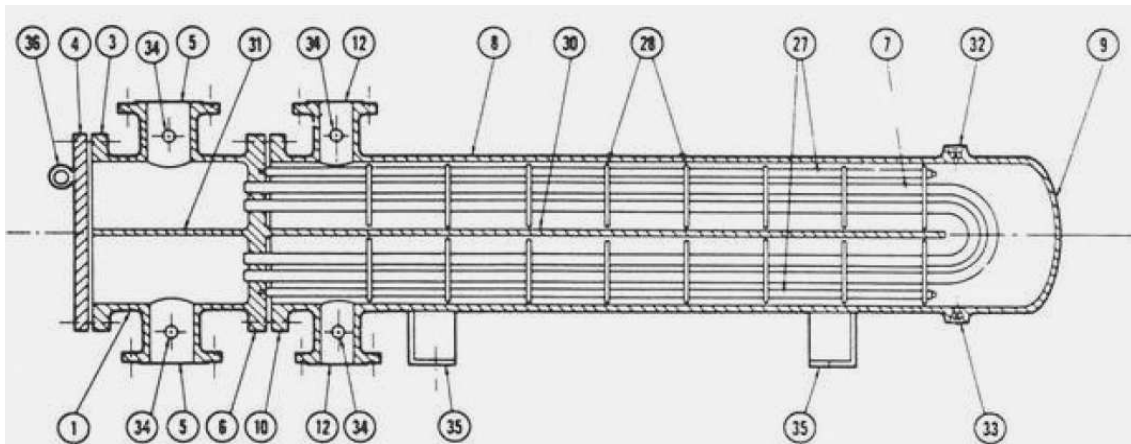
Existen tres tipos de colocación de la haz tubular, en la siguiente imagen están todas ellas representadas.



Diferentes colocaciones del haz tubular.

Existen tres variantes del intercambiador de haz de tubos y coraza: en U, de cabezal fijo y de cabezal flotante.

Los intercambiadores de tubos en U, tienen los tubos del haz doblados formando una U para evitar que una de las dos placas de tubos, que separan el espacio del fluido de la coraza del espacio del fluido de tubos fuera un punto débil en la unión de los tubos con la placa que podría causar fugas. Los tubos en U, presentan cambios de dirección más graduales, ya que la curva formada es muy abierta, dando así mayor resistencia al flujo.

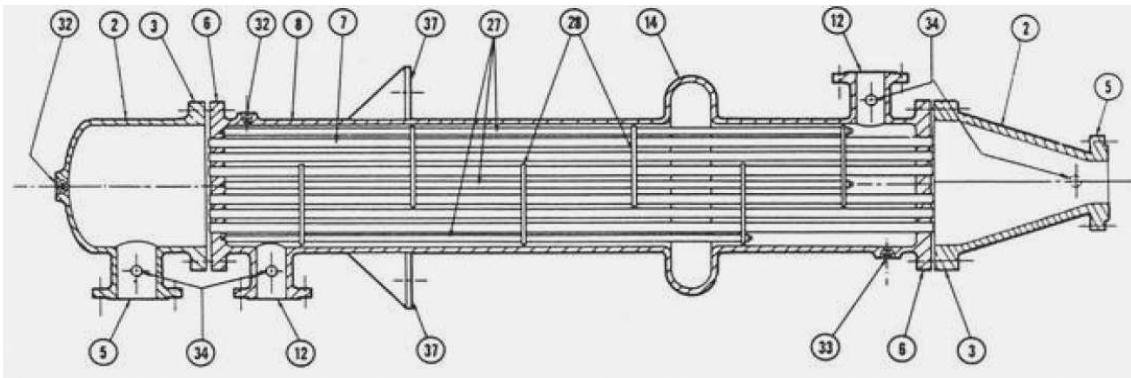


Intercambiador de haz de tubos y coraza en U

Este tipo de intercambiador, es usado en servicios en que no existe ninguna corriente que ensucie, en sistemas donde hay una presencia de presión extrema en un lado, en sistemas donde la temperatura cause esfuerzos importantes y que la U se expande libremente, para servicios en hidrogeno. En contra podemos señalar que, la limpieza interna resulta dificultosa, e incluso imposible, si se ensucia en la curva de la U. En caso de rotura o taponamiento en los tubos, es de gran dificultad el cambio y la limpieza en la son exterior curva también tiene gran dificultad.

El intercambiador de cabezal fijo, es el tipo más popular cuando se desea minimizar la cantidad de juntas, no hay problemas de esfuerzos de origen térmico y no es preciso sacar el haz. Uno de los grandes problemas de este tipo de intercambiador es su fragilidad respecto a las fuerzas térmicas severas, ya que al producirse estas fuerzas, se crean fugas tanto en el haz como en la carcasa. Esto provoca la necesidad de control continuo para intentar aliviar las condiciones de fuerzas térmicas. Para analiza el esfuerzo térmico se debe calcular las temperaturas promedias de los tubos y coraza, y por medio del módulo de elasticidad y el coeficiente de expansión térmica, se calcula la diferencia de expansión entre la coraza y los tubos. Si los tubos se expanden más que la coraza, a éstos les afectará una fuerza de compresión, si por lo

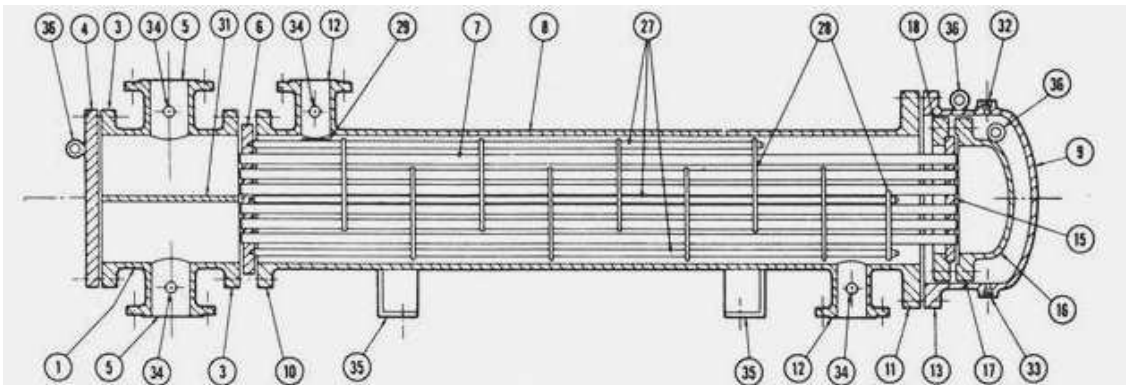
contrario los tubos se expanden menos que la coraza, sufrirán fuerzas de tracción. Sabiendo que tipo de fuerza les afectara, podremos decidir si la unión entre carcasa y tubos, será mandrilada o soldada.



Intercambiador de cabezal fijo

Los principales problemas de este tipo de intercambiador son, como ya hemos comentado, que los esfuerzos térmicos deben ser controlados continuamente para evitar fugas, y en caso de haz de tubos, no puede ser inspeccionada o limpiada mecánicamente una vez instalado.

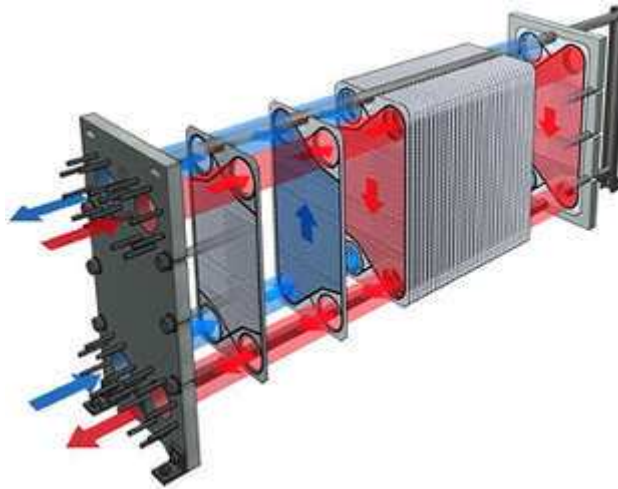
Los intercambiadores de cabezal flotante, están principalmente recomendados en servicios en los que la limpieza de tubos y remplazo es frecuente. Hay dos variantes de este tipo de intercambiador, uno con cabezal deslizante y el otro con una empaquetadura para permitir la expansión térmica. Este último no se utilizara en caso de uso de fluidos tóxicos. Hay numerosos subtipos de intercambiador de cabezal flotante cuyas diferencias están en el diseño del cabezal y la cubierta. Los diseños de cubierta apuntan a evitar, o prevenir, que se tuerza el cabezal o el haz de tubos produciendo fugas.



Intercambiador de cabezal flotante

4.2.3.1.2.2. Intercambiadores de placas

Los intercambiadores de placas están integrados por una serie de placas metálicas, de tamaños normalizadas, por cada constructor que se acoplan unas a otras en número mayor o menor, según las necesidades térmicas, en un bastidor que las sostiene unidas. Con el objetivo de que las placas queden correctamente enfrentadas unas a otras, estas, se encuentran dobladas en su parte inferior y superior de dos oberturas, mediante las cuales, pueden deslizarse a lo largo de las guías del bastidor. La obertura superior permite además, que la placa quede suspendida de la correspondiente guía portadora. En los intercambiadores de placas, se denomina paso al conjunto de placas, montadas en paralelo, que son recorridas con el mismo sentido de flujo en cada fluido. Este tipo de intercambiador suele estar construidos con materiales que tengan buenas propiedades respecto a los fluidos en que van actuar. Para que tengan buenas propiedades deben presentar facilidad de deformación por prensado, poca resistencia térmica y no entren en contacto los fluidos a emplear. Los materiales más usados suelen ser aceros inoxidables, aleaciones de níquel, cromo y titanio.



Intercambiador de placas

Las principales ventajas de este tipo de intercambiadores son: Las elevadas turbulencias en la circulación de los fluidos a su interior, que permiten velocidades de circulación menores, y disminuyen la posibilidad de ensuciamiento. También, tienen elevados valores de coeficiente de transmisión superficial, por lo que posee un elevado coeficiente de transmisión de calor. Ocupan poco espacio ya que tienen una elevada relación superficie de intercambio y volumen total. Además, tiene una fácil accesibilidad a ambas caras de cada placa, permitiendo así una inspección y limpieza mayor. Otra ventaja es la facilidad de sustitución de elementos en caso de avería.

Sus principales inconvenientes, son sus limitaciones en temperaturas y presiones de trabajo, ya que no pueden trabajar a más de 20 atmósferas y a temperaturas superiores a 250°. Además, provocan caídas de presión importantes en la circulación de fluidos. Por último, este tipo de intercambiador suele tener un precio inicial mucho mayor al de los otros tipos comentados.

4.2.3.2 Elección de intercambiador de calor

El proceso de selección de un intercambiador de calor, se puede dividir en cuatro etapas claramente definidas. En la primera etapa se toman en cuenta consideraciones referidas al tipo de intercambio de calor. En la segunda, se obtienen las propiedades de los fluidos en función de las variables conocidas. En la tercera etapa, se elige un intercambiador adecuado para este servicio. En la cuarta fase se hacen los cálculos, para averiguar si el tipo de transferencia de calor con el intercambiador de calor, es ideal.

- *Primera etapa:* Lo primero a determinar es el tipo de intercambio de calor que se debe producir en el equipo. Dicho en otras palabras, no se comportan de igual manera un fluido que intercambia calor sin cambio de fase, que un fluido que intercambia calor con cambio de fase, por lo que se deduce que el equipo en cada caso será diferente. Para ello, se debe conocer las temperaturas de ebullición de ambos fluidos en las respectivas presiones operativas.

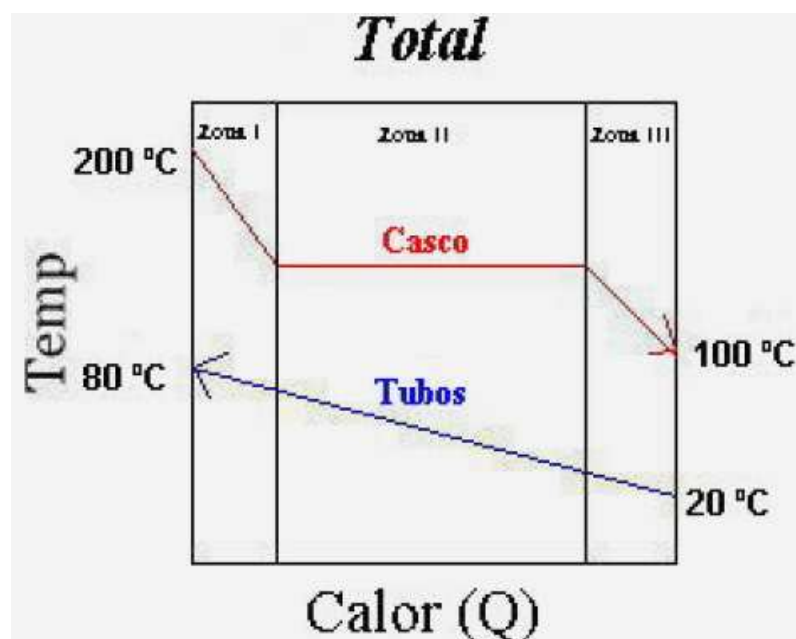


Diagrama de calor-temperatura de un sistema

En este esquema, podemos apreciar la evolución de los fluidos en un sistema que trabaja en contracorriente. El sentido de las flechas del esquema anterior muestra entonces una disposición a contracorrientes. Este es el caso más general, en el que uno de los fluidos está recalentado y se enfría hasta que condensa, para continuar enfriando posteriormente, es decir, que sale a menor temperatura que la de evaporación. El otro fluido, se calienta sin cambio de fase. Otro de los casos más comunes es el inverso, donde un líquido se evapora, lo que nos llevaría a la obtención del mismo diagrama pero, con los sentidos de la corriente invertidos.

Se ha dividido el diagrama en tres zonas. La zona 1, es la de enfriamiento del vapor recalentado del lado de casco hasta la temperatura de condensación. EN la zona 2, se produce la condensación del fluido del lado del casco mientras el fluido del lado de tubos se calienta. Por último, en la zona 3, se produce un su enfriamiento del líquido condensado, que entrega más calor en el casco al fluido de tubos que se calienta.

- *Segunda etapa:* En esta etapa se definirán los caudales y presiones operativas de las corrientes. Esta información se necesita para obtener las propiedades y establecer el balance de energía del equipo. También, es importante conocer la diferencia de presión admisible de acuerdo al tipo de impulsor que se dispone.
- *Tercera etapa:* En esta etapa seleccionamos el tipo de intercambiador que mejor se ajusta al servicio que nos interesa. Se basa exclusivamente en consideraciones técnicas y económicas, que finas la opción ganadora en términos de servicio prolongado y satisfactorio con menores costos iniciales y operativos. La gama de opciones disponibles, en principio, puede ser muy amplia, pero se estrecha con poco que se

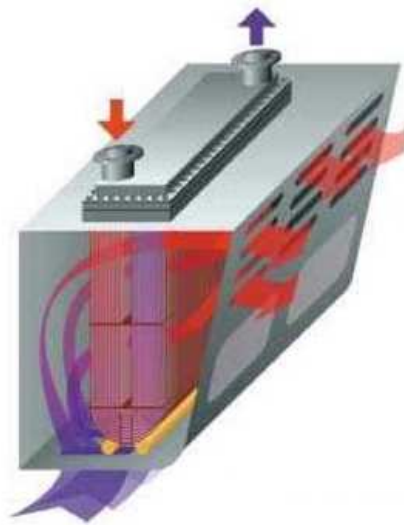
tomen en cuenta limitaciones de espacio como: tipo de materiales del equipo, características de ensuciamiento peligrosidad y agresividad química de las corrientes y otras semejantes. Los elementos de juicio necesarios para la toma de decisión, han sido expuestos en algunos casos como parte de la descripción. Una vez calculada el área necesaria, podemos estimar el costo aproximado de la distintas alternativas posibles. De allí en adelante, influirán consideraciones no económicas como el espacio disponible, la posibilidad de construir el equipo en vez de comprarlo...

- *Cuarta etapa:* La última etapa de la selección del intercambiador adecuado, es la confirmación de la selección elegida. Se vuelven a hacer los cálculos realizados en la etapa dos, pero esta vez con las áreas de transferencia ya conocidas. Si el resultado es óptimo, tendremos el intercambiador deseado.

4.2.3.3 Box-cooler

El box-cooler, también llamado enfriador de caja o quilla de enfriamiento, consiste en la disposición de una cámara situada en la obra viva del casco, abierta al agua de mar, a través de unas rejillas situadas al costado y fondo de la caja. En el interior de la caja se encuentran unos serpentines en forma de U por donde circula forzada el agua dulce. La quilla de enfriamiento consigue el efecto de enfriamiento por la circulación natural del agua exterior de la caja. El agua de mar se calienta, y gracias a la disminución de la densidad sube saliendo de la caja por los costados, ocupando su lugar agua fría, entrando esta por el fondo de la caja, o por la circulación de agua debido a la velocidad de la embarcación.

Las principales ventajas de este sistema de enfriamiento, respecto a los intercambiadores de placas y enfriadores multitubulares son varias. El box-cooler, es menos susceptible a la corrosión y a la incrustación, además, se consigue un ahorro energético respecto a la refrigeración convencional, gracias a la eliminación de la bomba secundaria.



Box-cooler

Los enfriadores de caja están dotados con salidas de aire comprimido para en caso de obstrucción de las rejillas por suciedad destaparlas. Se debe tener en cuenta la protección de la caja de la corrosión galvánica, instalando ánodos de sacrificio, peines antivibración y aplicando una capa anticorrosión en el haz tubular, aun así puede aparecer corrosiones por flujos incontrolados del agua de mar o vibraciones de origen mecánico que destruirían la capa protectora en las juntas de la haz tubular. Así pues, se deberá tener especial atención en las revisiones en estas juntas.

El enfriador de caja, no suele tener problemas con la bioincrustación, pero dependiendo de las zonas de navegación, se deberá tener en cuenta en el mantenimiento de la embarcación. El principal inconveniente de la bioincrustación, es el hecho de que solamente se verá afectada la refrigeración

de la embarcación, cuando la totalidad de la caja esté cubierta de incrustación, impidiendo así, el flujo de agua. Para evitar que la caja tenga incrustaciones, tenemos la posibilidad de instalar ánodos de cobre puro debajo del haz de tubos. Estos ánodos crean un ambiente contaminado de cobre alrededor de la caja, eliminando toda posibilidad de incrustaciones en la caja, previniendo la unión y crecimiento de organismos.



Ánodos de cobre anti-fuling

5. Mantenimiento de una instalación de refrigeración.

Mantenimiento según la “*European Federation of National Maintenance Societies*”, es toda acción, ya sea técnica o administrativa, que tiene como objetivo mantener un artículo o restaurarlo a un estado en el cual pueda llevar a cabo alguna función requerida.

En el caso de las instalaciones de refrigeración, estas acciones se concentran en controlar y asegurar el buen estado de todos los elementos del sistema e intentar evitar, y en caso de presentarse, solucionar la corrosión y precipitación de sólidos a lo largo de las tuberías.

5.1 Mantenimiento de la bomba centrífuga.

Ante todo, se tiene que tener presente en la instalación de la bomba, que su situación permite un fácil acceso para su inspección y mantenimiento. A continuación, la bomba se debe inspeccionar y comprobar a lo largo de su vida.

Normalmente en las bombas centrifugas se comprueba su buen funcionamiento cada hora durante un tiempo después de la instalación. Después de este periodo de tiempo, cuando ya se haya asegurado el buen funcionamiento, se suele inspeccionar la bomba en los momentos de cambios de aceites de los cojinetes. Estas inspecciones pues dependerán del tipo y condiciones del cojinete.

Todas las inspecciones y operaciones de reparación o recambio efectuadas en la bomba deben ser anotadas en un historial detallado. Es recomendable efectuar inspecciones mensuales, trimestrales, semestrales y anuales, siempre teniendo en cuenta las condiciones de servicio. Consecuentemente, aunque la inspección de los cojinetes se recomienda mensualmente, en caso de condiciones de servicio más duras de lo habitual, se deberá recorta este tiempo, y lo mismo en las inspecciones semestrales...

Las inspecciones anuales suelen consistir en desmontar completamente la bomba, inspeccionar toda pieza que pueda presentar desgaste, y sustituir las piezas desgastadas más allá de los límites establecidos. En muchos de los modelos proyectados para condiciones duras de servicio, se prevé la facilidad de inspección, extracción y sustitución de piezas sometidas al desgaste sin desmontar totalmente la bomba. Así, se consigue simplificar el mantenimiento y reducir sus costes. Únicamente, estará justificado el paro total de la instalación, en caso de reducción de las prestaciones dadas por la bomba, siendo necesario un ensayo de la bomba para determinar si los valores de capacidad, altura, o potencia absorbida, se han degradado, Además, se requiere de una intervención que lo resuelva.

La dificultad del mantenimiento de una bomba centrífuga dependen del servicio, la construcción general de ella, la complejidad de las reparaciones requeridas, las facilidades disponibles en el lugar, la localización reparación, que se puede ejecutar en la instalación o en la planta del fabricante, etc. En determinadas ocasiones, cuando se tiene suficiente equipo auxiliar de relevo, una bomba que necesite reparación se manda a la planta del fabricante para reconstrucción completa. A continuación, se explican los diferentes tipos de inspección.

- *Observación diaria:* Las Bombas que se atienden constantemente, se deberán inspeccionar cada hora durante todo el día. En este caso, no habrá necesidad de reporte de las inspecciones, solo se hará en caso de

observar alguna irregularidad. Un cambio repentino de temperatura en los cojinetes, o un cambio de sonido de la bomba debe investigarse. También, se deberá observar la operación de los estoperos para asegurarnos que proporciona suficiente enfriamiento y lubricación a la empaquetadura. Los manómetros e indicadores de flujo, se deberán revisar cada hora para su correcta operación.

- *Inspección semestral:* En las inspecciones semestrales, se deberán limpiar y aceitar los pernos y tuercas del prensaestopas, e inspeccionar la empaquetadura para determinar si debe efectuarse un recambio. Se verificarán y se corregirán, si es necesario, la alimentación de la bomba y el impulsor. También, se asegurará si los cojinetes tienen suficiente grasa y que esté en buen estado.

- *Inspección anual:* Las bombas centrifugas, se deben inspeccionar con especial cuidado una vez el año. Además de los procedimientos de la inspección semestral, se desmontaran los cojinetes e se limpiaran y examinaran su estado. Asimismo, se limpiaran las cajas de los cojinetes. La empaquetadura, se secará, y los manguitos de las flechas se deberán examinar. Los drenajes, tuberías de agua de sello, tuberías de agua de enfriamiento, etc., se deberán revisar y soplar. Los dispositivos de medición, deberán recalibrarse y probar para su bien funcionamiento.

- *Desmontaje y montaje de la bomba:* Toda bomba centrifuga, se deberá desarmar con cuidado. Las válvulas de succión y descarga, deberán estar cerradas y la cubierta de la bomba drenada. Toda las tuberías y partes necesarias que pudieran interferir con el desarmado de la bomba, deberán desmantelarse según lo requieran las instrucciones. La mitad superior de la bomba con cubiertas divididas axialmente, deberá levantarse verticalmente una vez ya se hayan quitado las tuercas y pernos de la cubierta para evitar daños en el interior. Esto también se hará con el rotor, de otra manera, dañaríamos los impulsores, anillos de

desgaste y otras partes. Durante el proceso de desmantelamiento, toda parte extraída será marcada para asegurar un buen montaje. Toda parte aislada y juntas serán especialmente examinadas cuidadosamente. Usualmente, toda parte desgastada será cambiada por otra nueva, sin considerar el rendimiento de la bomba, ya que si montamos la bomba con partes nuevas y partes ligeramente desgastadas provocará un mayor desgaste a las partes nuevas.

En el momento de montaje de la bomba, los impulsores se deberán a volver a montar en la flecha de la bomba para un giro en la dirección correcta, siempre alejándose de los álabes. Si la cubierta de la bomba esta axialmente dividida, se debe tener mucho cuidado al reponer la mitad superior de la cubierta y al apretar los pernos de la bomba. Una vez apretados los pernos, se deberán apretar una segunda vez cuando la bomba este en temperatura de trabajo.

A continuación se indicaran posibles fallos en el funcionamiento de la bomba y sus posibles causas.

- *Vibraciones*: Este problema es bastante frecuente en este tipo de bombas. Estas vibraciones provocan averías por fallo de los sellos mecánicos o gripajes de los aros de ajuste del impulsor, pudiendo romperse la bomba. Las posibles causas de vibraciones son:
 - ANPAD insuficiente
 - Bajo flujo de bombeo
 - Cebado incorrecto
 - Desalineación con la maquina motriz
 - Desequilibrio
 - Deterioro de rodamientos
 - Transmisión de vibraciones desde otra máquina próxima.

o *La bomba no descarga líquido*

- Altura total del sistema mayor que la altura de diseño de la bomba
- Aros de desgaste gastados
- Bolsa de aire en la cañería de aspiración
- La bomba o caño de aspiración no están totalmente llenos de líquido
- Demasiada altura de aspiración
- Margen insuficiente entre la presión de aspiración y la presión del vapor del líquido
- Excesiva cantidad de gas o de aire en el líquido
- Filtraciones de aire en la cañería de aspiración
- Entra aire a la bomba por las cajas prensaestopas o los sellos
- Válvula de pie demasiado pequeña o parcialmente obturada
- Entrada del cañón de aspiración insuficientemente sumergida
- Demasiado baja velocidad
- La viscosidad del líquido difiere de la considerada para el cálculo
- Funcionamiento paralelo de las bombas, inconveniente para tal forma de trabajo
- Materias extrañas en el impulsor
- Aros de desgaste gastados
- Impulsor averiado
- Junta de la caja defectuosa, permitiendo filtraciones interiores

- Insuficiente capacidad de descarga
 - La bomba o el caño de aspiración no están totalmente llenos de líquido
 - Demasiada altura de aspiración
 - Margen insuficiente entre la presión de aspiración y la presión del vapor del líquido
 - Excesiva cantidad de gas o de aire en el líquido
 - Bolsa de aire en la cañería de aspiración
 - Filtraciones de aire en la cañería de aspiración
 - Entrada de aire a la bomba por las cajas prensaestopas o los sellos
 - Válvula de pie demasiado pequeña o parcialmente obturada
 - Entrada del caño de aspiración insuficiente sumergida
 - Demasiado baja la velocidad
 - Altura total del sistema mayor que la altura de diseño de la bomba
 - La viscosidad del líquido difiere de la considerada para el cálculo
 - Funcionamiento paralelo de las bombas
 - Materias extrañas en el impulsor
 - Aros de desgaste gastados
 - Impulsor averiado
 - Junta de la caja defectuosa

- La bomba pierde cebadura después de arrancar
 - La bomba o caño de aspiración no está totalmente lleno de líquido
 - Excesiva cantidad de gas o de aire en el líquido
 - Filtraciones de aire en la cañería de aspiración

- Bolsa de aire en la cañería de aspiración
- Demasiada altura de aspiración
- Entrada de aire a la bomba por las cajas prensaestopas o los sellos
- Jaula del sello mal ubicada en la caja prensaestopas
- Caño del sello hidráulico tapado

- o Poca presión desarrollada
 - Excesiva cantidad de gas o de aire en el líquido
 - Sentido equivocado de giro
 - Demasiada baja la velocidad
 - Funcionamiento paralelo de la bombas
 - La viscosidad del líquido difiere de la considerada para el cálculo
 - Junta de la caja defectuosa
 - Impulsor averiado
 - Aros de desgaste gastados
 - Altura total del sistema mayor que la altura de diseño de la bomba

- o La bomba Absorbe demasiada fuerza
 - Velocidad demasiado elevada
 - Altura total del sistema mayor que la altura de diseño de la bomba
 - Altura total del sistema menor que la altura de diseño de la bomba
 - Peso específico del líquido distinto que en el cálculo
 - Materias extrañas en el impulsor
 - Mala alineación
 - Eje torcido
 - Parte giratoria roza con la fija
 - Empaquetadura mal instalada

- Tipo de sello o empaquetadura equivocado
- Casquillo de prensaestopas demasiado apretado
- Altura total del sistema mayor que la altura de diseño de la bomba
- o La caja prensa estopa pierde demasiado
 - Mala alineación
 - Altura total del sistema mayor que la altura de diseño de la bomba
 - Empaquetadura mal instalada
 - Tipo de sello o empaquetadura equivocado
 - Eje torcido
 - Jaula del sello mal ubicada en la caja prensaestopas
 - Eje o manguitos del eje gastados
 - El eje gira fuera del centro
 - Rotor desequilibrado
 - No hay líquido de refrigeración a las cajas prensaestopas
 - Suciedad en el líquido de cierre
- o La empaquetadura dura poco
 - Caño del sello hidráulico tapado
 - Jaula del sello mal ubicada en la caja prensaestopas
 - Eje torcido
 - Eje o manguitos del eje gastados
 - Empaquetadura mal instalada
 - Tipo de sello o empaquetadura equivocado
 - El eje gira fuera del centro
 - Rotor desequilibrado
 - No hay líquido de refrigeración a las cajas prensaestopas
 - Suciedad en el líquido de cierre
 - Mala alineación

- La bomba vibra o hace ruido
 - Válvula de pie demasiado pequeña o parcialmente obturada
 - La bomba o caño de aspiración no está totalmente lleno de líquido
 - Demasiada altura de aspiración
 - Materias extrañas en el impulsor
 - Mala alineación
 - Eje torcido
 - Parte giratoria roza con la fija
 - El eje gira fuera del centro
 - Cojinetes gastados
 - Impulsor averiado
 - Empuje excesivo
 - Exceso de grasa o de aceite en el cojinete de rodamiento
 - Falta de lubricación
 - Mala instalación de los cojinetes de rodamiento
 - Suciedad en los cojinetes

- Los cojinetes duran poco
 - Mala alineación
 - Eje torcido
 - Parte giratoria roza con la fija
 - Cojinetes gastados
 - El eje gira fuera del centro
 - Rotor desequilibrado
 - Empuje excesivo
 - Exceso de grasa o de aceite en el cojinete de rodamiento
 - Falta de lubricación
 - Mala instalación de los cojinetes de rodamiento

- Suciedad en los cojinetes
- o La bomba se recalienta y engrana
 - La bomba no está cebada
 - Margen insuficiente entre la presión de aspiración y la de vapor del líquido
 - Funcionamiento con capacidad demasiado baja
 - Funcionamiento paralelo de las bombas
 - Mala alineación
 - Parte giratoria roza con la parte fija
 - Cojinetes gastados
 - El eje gira fuera de centro
 - Rotor desequilibrado
 - Empuje excesivo

5.2 Mantenimiento intercambiador de placas

En los intercambiadores de placas se produce sedimentación. Los sedimentos que se forman, pueden incrementar el grosor total de la pared, y si añadimos la información de que estos sedimentos, tienen un coeficiente de transmisión de calor menor, sucederá que la conductividad térmica disminuye en gran medida. Provocando que no se pueda enfriar suficientemente el fluido caliente.

Otro problema provocado por la sedimentación, es un aumento de caída de presión. La caída de presión está siempre presente, pero se debe procurar que esté lo más cerca posible de la caída de presión considerada en el diseño de la instalación.

En los intercambiadores, pueden entrar partículas de mayor tamaño que obstruyan el flujo, para evitar esto se deberá de colocar filtros u otras protecciones.

Consecuentemente, la única solución que tenemos a la sedimentación es una limpieza regular.

En caso de encontrarnos en su interior bacterias, nematodos o protozoos, se deberá escoger uno de los siguientes procesos:

- Limpieza con cepillo de raíces y agua corriente
- Limpieza aplicando agua a fuerte presión
- Limpieza química utilizando sustancias alcalinas:
 - Hidróxido de sodio
 - Carbonato sódico
 - Hay la posibilidad de incrementar la eficacia de la limpieza añadiendo pequeñas cantidades de hipoclorito o agentes para la formación de dichos sedimentos.

En caso de encontrarnos incrustaciones de carbonato cálcico, sulfato cálcico o silicatos se deberá escoger uno de los siguientes procesos:

- Limpieza con cepillo de raíces y agua corriente
- Limpieza aplicando agua a fuerte presión
- Limpieza química en la unidad abierta utilizando:
 - Ácido nítrico
 - Ácido cítrico
 - Polifosfatos de sodio

En caso de encontrarnos sedimentos de productos corrosivos u óxidos metálicos la limpieza se efectuara de la siguiente forma:

- Limpieza con cepillo de raíces y agua corriente

- Limpieza agua a fuerte presión
- Limpieza química en la unidad abierta, utilizando:
 - Ácido nítrico
 - Ácido cítrico
 - Agentes para la formación de complejos
 - Se tiene la posibilidad de incrementar la eficacia de la limpieza añadiendo tensoactivos.

En caso de encontrarnos residuos de aceite, asfalto y grasas deberemos hacer la limpieza siguiente:

- Con la ayuda de un cepillo suave y un disolvente a base de parafina o nafta podremos eliminar los sedimentos de hidrocarburos.
- Se debe secar con un paño o enjuagar con agua
- Se debe tener en cuenta no utilizar :
 - Cetonas
 - Esteres
 - Hidrocarburos halogenados
 - Hidrocarburos aromáticos

En el momento de apertura del intercambiador se deberá seguir las indicaciones del fabricante que suelen ser:

- Las juntas de las placas han de ser renovadas cada vez que este se desmonte
- No se debe cambiar el orden de montaje de las placas ni su orientación
- Antes de aflojar los tirantes se medirá el espesor de todo el paquete de placas, y al volver a montarse este ha de coincidir
- No se sobrepasará el valor de apriete en los tirantes recomendado por el fabricante
- Los productos químicos de limpieza utilizados para las placas debe ser los homologados por el fabricante.

5.3 Mantenimiento de las válvulas

El mantenimiento de las válvulas de una tubería se concentra básicamente en apretar los tornillos de unión entre el bonete y el cuerpo y los del estopero, en ocasiones concretas también se cambian los anillos de empaquetadura. La cantidad de mantenimiento de una válvula está ligado al diseño de esta, por ejemplo es mucho mas practico cambiar una válvula con bridas que repararla, aunque en esta se pueda efectuar reparaciones sin desmontarla.

Las válvulas, que tiene la cualidad de ser reparadas sin desmontarlas para corregir problemas con el asentamiento e instalar nuevos discos o sellos de asiento son las de compuerta, globo, retención, macho, bola de entrada superior y diafragma. Mientras, para reparar las válvulas de bola y mariposa se deberá desmontar gran parte de ellas.

La rectificación de los asientos de las válvulas de compuerta y de retención de bisagra, requiere el uso de una maquina especial que se monta en la brida del cuerpo y corta una nueva superficie de asiento. Debido a la necesidad de que el asiento esté en el plano y su ángulo coincida en forma precisa con el disco, este procedimiento es de resultados dudosos en las válvulas de compuerta de cuña maciza. Si se corta más de una cantidad mínima en los asientos, se necesita un disco nuevo para tener cierre correcto. Los asientos en las válvulas de globo y de retención por elevación se pueden rectificar por el lado del bonete con buenos resultados.

5.4. Mantenimiento de Box – cooler.

El mantenimiento del Box-cooler se concentra básicamente en mantenerlo limpio, esta limpieza se divide en 2, su exterior y su interior.

En el box-cooler los ánodos de cobre mantendrán el exterior libre de crecimientos de vida acuática. Sin embargo, si la unidad no funciona regularmente se puede acumular vida acuática. Para poder eliminar esta vida tenemos.

- La primera manera será raspando, es eficaz para sacar las materias de mayor tamaño, pero para la vida de menor tamaño tendrá su dificultad.
- Otra manera de limpiar es utilizando agua a presión, esta nos facilitara la eliminación de la pequeña vida.
- Otro sistema es chorrear con arena el box-cooler, esta arena no podrá superar el tamaño de grano de 0.4 a 0.6 mm y con una presión máxima de unos 6,21 bar.
- Se debe tener en cuenta el no pintar los tubos, ya que esta pintura disminuye la eficacia del intercambiador.
- Comprobar y sustituir, si es necesario, es de especial importancia, ya que este tipo de ánodos evitara la corrosión galvánica.

Para la limpieza interior del box-cooler, lo más fácil es utilizar una limpieza como la de un radiador para eliminar los posibles sedimentos que se hayan acumulado.

5.4.1 Sistema de agua a presión

El principal problema de los enfriadores de quilla es la incrustación de vida en las tuberías. Como se ha comentado anteriormente, al incrustarse vida marina en los tubos, provoca una menor transmisión del calor, reduciendo drásticamente el rendimiento del intercambiador. Actualmente se utilizan ánodos de cobre colocados estratégicamente para evitar la incrustación de

vida, pero aun así esta consigue engancharse. Así se propone un nuevo sistema de mantenimiento para el box-cooler



El sistema consistiría en que la pared interior del box colore estuviera provista de una serie de agujeros de pequeño tamaño. Estos agujeros estarían conectados al sistema de agua salada. En el momento que el enfriador de quilla pierda rendimiento, encenderemos la bomba del sistema de agua salda y abriríamos la válvula de los agujeros, estos, al tener poco diámetro de obertura, provocarían que el agua saldrá a gran presión hacia los tubos del box-cooler. El agua arrastraría consigo toda vida que encontrara así limpiando de nuevo el intercambiador, y este volviendo a tener un buen rendimiento de enfriamiento.

5.5 Mantenimiento del circuito en general

En un circuito de refrigeración de un motor, si no se trata el agua adecuadamente puede aparecer corrosión y entartración.

La corrosión es el deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno. Está, depende de la temperatura, el tipo de fluido en contacto con el metal y las propiedades del metal.

La corrosión puede ser causa de tres formas diferentes, galvánicamente, por cavitación y por el oxígeno presente en el agua.

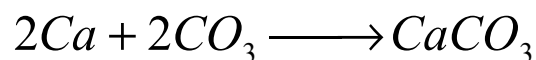
La corrosión galvánica surge por la formación de un par voltaico entre metales diferentes o situaciones diferentes del mismo metal. Este par produce una reacción química en que hay una transferencia de electrones de un metal a otro.

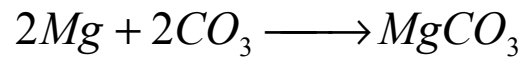
La corrosión por cavitación es debida a las variaciones de presión con formación de burbujas en el vapor o bolsas de vacío cerca de las paredes. Cuando estas explotan, se crea un flujo de alta velocidad del fluido al ocupar el lugar de la bolsa o burbuja, si este fluido sale proyectado hacia la pared a altas frecuencias provocan la erosión. Las principales causas de cavitación son las vibraciones y turbulencias creadas por obstáculos en el trayecto del fluido.

La corrosión por el oxígeno disuelto en el agua es de acción lenta y uniforme. Su proceso es parecido al galvánico, se produce por la formación de corriente entre las zonas con oxígeno y las zonas con menos oxígeno.

La entartración es causada por la elevación de la temperatura. Los carbonatos solubles al calentarse se vuelven insolubles, estos se acumulan en las paredes con óxidos procedentes de los otros fenómenos. Los más comunes en encontrarse en el interior de circuitos de refrigeración son la cal y el yeso.

Las incrustaciones más comunes de la cal, son resultado de dos reacciones:





Este tipo de incrustaciones pueden llegar a taponar tuberías por completo.

La presencia de estas sales en las tuberías, dependerá de las concentraciones de estas. En caso del carbonato sus concentraciones dependen del pH, ya que se suele presentar soluble en forma de CO_2 , de bicarbonato o en forma de carbonatos. Así, si el agua presenta un pH alto, seguramente habrá presencia de cal.

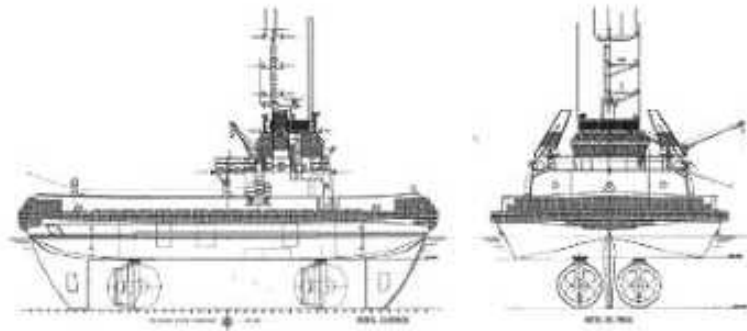
6. Presentación del remolcador

El remolcador elegido para diseñar su sistema de agua salada es el Salvador Dalí propiedad del grupo REYSER (Remolques y Servicios Marítimos S.L.) presente en Alicante, Pasajes, Ferrol, Santander, Avilés, Palamós, Tarragona y Barcelona.

LOA	27,55 m
Manga	12,25 m
Calado medio	3,30 m
Calado máximo	5,21 m

Medidas principales de Salvador Dalí

El Salvador Dalí fue botado en el 2005 por astilleros Zamakona, y diseñado por Erik Hyde en Estados Unidos. Esta embarcación, tiene dos características muy particulares y que le diferencia de sus semejantes: Su sistema de propulsión y su relación eslora manga. Su sistema de propulsión ATT “Asimetric Tractor Tug” posee dos propulsores, uno a babor y el otro a estribor. A diferencia de los demás sistemas de propulsión, el convencional y el “tractor”, Los propulsores no estarán situados en la misma línea transversal, sino que uno de los propulsores estará situado a proa y el otro a popa, ambos cerca del extremo.

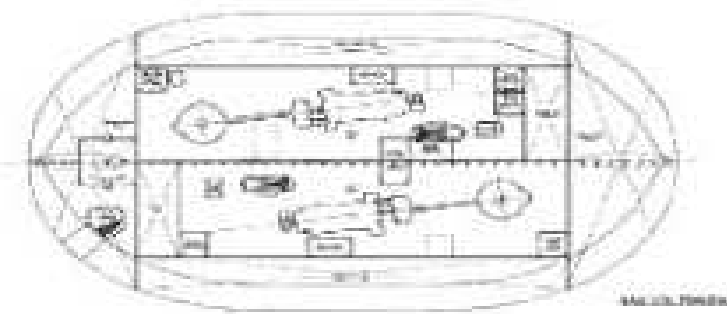


Vista lateral y frontal de Salvador Dalí.

Su otra peculiaridad es la relación eslora manga, más pequeña de lo usual, dándole una forma elíptica muy peculiar. Esto les proporciona dos ventajas respecto a sus semejantes. Por un lado, una mayor rapidez en maniobras con desplazamientos laterales, y una mayor estabilidad, gracias a la reducción del balanceo, dando así mayor seguridad a la embarcación en caso de acercamiento por salvamento.

6.1 Sistema de propulsión

El Salvador Dalí utiliza dos motores diesel Caterpillar modelo 3516B-C de 1600rpm y 2535hp. Como se ha nombrado anteriormente, los dos motores forman un sistema de propulsión tipo ATT, además la línea de ejes no es paralela a al plano de crujía, como puede observar a la imagen siguiente.



Vista en planta del Salvador Dalí

Los motores están refrigerados por un sistema de agua salada cerrado, que ellos mismos accionan las bombas de dicho sistema, al igual que las bombas de refrigeración de sistemas auxiliares, como también las bombas de lubricación y de combustible.

6.2 Sistema de Refrigeración del Salvador Dalí

El circuito de refrigeración de la maquina propulsora está dividido en tres partes diferenciales: enfriadores varios, alta temperatura y baja temperatura. Estos circuitos son exactamente iguales para los dos motores principales. Los dos motores auxiliares también tienen un sistema de refrigeración, diferente al motor principal, pero igual entre ellos. A continuación, explicaremos por separado cada uno de ellos.

6.2.1 circuito de refrigeración varios

Este circuito tiene como principal función la disminución de temperatura del aceite propulsor, del aceite del embrague y el combustible. También dispone de un tanque de expansión de 30 litros conectado con el sistema de agua dulce sanitaria, para así poder cargar o descargar más agua en el circuito según sea necesario.

La totalidad de las tuberías de este circuito son de acero estirado inoxidable del tipo AISI – 316 – L. El diámetro de estas tuberías variará según donde estén situadas.

El circuito comienza saliendo de uno de los 2 enfriadores de quilla de intercambiadores varios, por una tubería de un diámetro exterior de 88.9mm y

un espesor de 3.05mm, justo a continuación pasa por una válvula de compuerta que servirá para aislar los enfriadores de quilla en caso de necesidad, seguidamente el agua dulce pasa por un termómetro que nos indicará la temperatura de salida del agua de los enfriadores de quilla.

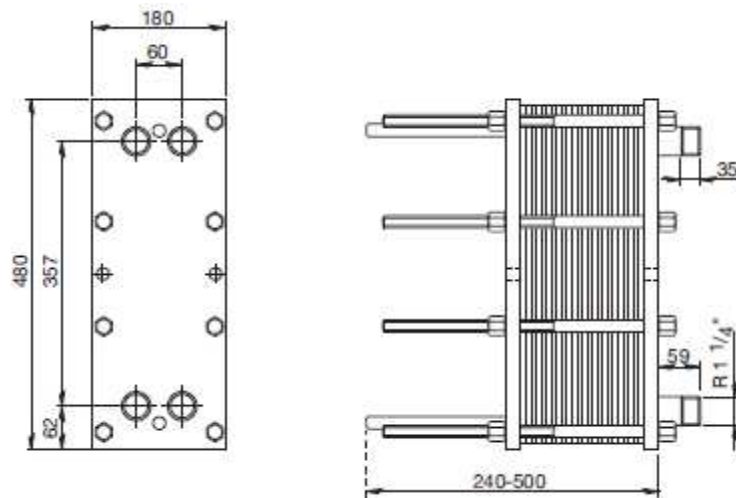
A continuación, el agua se dirige hacia la bomba centrífuga, encontrándose la conexión de entrada del agua del tanque de expansión. La tubería que conecta el tanque de expansión con el circuito, es de diámetro exterior 3,4 mm y de espesor 3,38mm.

La conexión entre la bomba y el circuito, es mediante mangueras con el diámetro suficiente, y aprobadas por la "Lloyd's Register". Entre la entrada y la salida de la bomba, ya en la zona del circuito hay una pequeña conexión con un diámetro de 48,3 mm y un espesor de 3,68mm. Esta interconexión, incluye una válvula anti-retorno que evita que el fluido pueda circular por ella sin antes pasar por la bomba. Haciendo esta conexión, podemos asegurar que en caso de taponarse el circuito, la bomba seguirá funcionando sin descebarse, reduciendo las posibilidades de avería.

Una vez el agua es impulsada por la bomba, se dirige hacia los intercambiadores varios pasando por una tubería de anti-retorno, para que el fluido no cambien de sentido. Los 4 intercambiadores conectados están conectados en el circuito en paralelo. Cada uno de ellos, tiene en su entrada y salida de agua una válvula, así podemos aislarlos del circuito en caso de reparaciones.

El primer intercambiador que encontramos es el de combustible, la tubería que le conecta con el circuito es de 42,2 mm de diámetro y con un espesor de 3,56mm. Este intercambiador tiene en su entrada una válvula de compuerta y en la salida una válvula de globo. El intercambiador en cuestión es de la marca

Alfa-Laval, en concreto el modelo M3-FM. Este modelo de intercambiador es del tipo placas, su bastidor esta hecho de acero carbono pintado de epoxi, sus pernos y placas son de acero inoxidable tipo AISI – 316. Su caudal máximo es de $1,2\text{m}^3/\text{H}$.



Intercambiador de calor del combustible

El siguiente intercambiador es el que tiene como función el enfriamiento del aceite del embrague. Este intercambiador, es de la misma marca que el embrague, Twin Disc, en concreto el modelo PM – 9190 – ER. Además, como el intercambiador anterior también es de placas. Su válvula en la entrada del agua es del tipo compuerta, mientras la válvula de salida es del tipo globo. La tubería que conecta el intercambiador con el circuito, es de 73mm de diámetro exterior y 3,05mm de espesor. Este intercambiador tiene como caudal máximo $28\text{m}^3/\text{H}$.

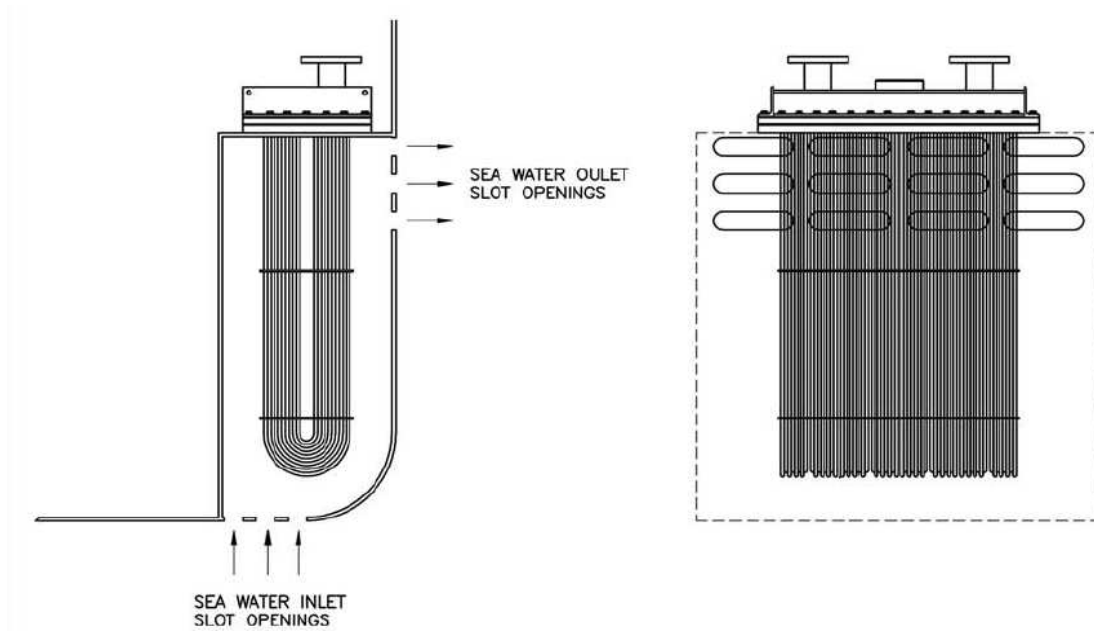
Los dos intercambiadores restantes, también son de placas, pertenecen a la empresa Aquamaster. El primero de ellos, tiene la función de enfriar el aceite de del propulsor en maniobras. La tubería que le conecta con el circuito es de 73mm de diámetro exterior y 3,05mm de espesor. Tiene como válvula de

entrada una de tipo compuerta mientras que como válvula de salida tiene una del tipo globo.

El último intercambiador, como hemos comentado anteriormente, es del tipo placas y de la marca Aquamaster. Su función es el enfriamiento del aceite del propulsor. Su conexión con el circuito es a través de una tubería de 73mm de diámetro exterior y 3,05mm de espesor. Como en los anteriores casos, su válvula de entrada es de compuerta, mientras que la válvula de salida es del tipo globo.

Entre la conexión de salida del intercambiador de calor del aceite del propulsor y el circuito, se encuentra el punto más elevado del circuito, donde a la vez se encuentra la conexión de entrada del tanque de compensación. En este caso, la tubería tendrá 21,3mm de diámetro exterior y 2,77 de espesor.

Una vez el agua haya pasado por todos los intercambiadores varios, volverá dirigirse hacia el box-cooler, pasando antes por un termómetro que nos indicará la temperatura de salida de los intercambiadores, y una válvula de compuerta.



Instalación del enfriador de quilla

Los dos enfriadores de quilla son de la empresa Fernstrum, concretamente el modelo D2412OU – L con un caudal máximo de $39\text{m}^3/\text{H}$.

6.2.2 Circuito de refrigeración de baja temperatura.

El circuito de refrigeración de baja temperatura, tiene como principal función la refrigeración del aire de carga y el aceite de lubricación del motor principal. Para conseguir su objetivo, está formado por un enfriador de quilla, válvulas, una bomba centrífuga y un tanque de expansión.

La tubería principal del circuito, tiene un diámetro exterior de 88,9mm y un espesor de 3,05mm. Una vez sale del motor el agua, se dirige hacia al enfriador de quilla, en este camino pasará por un termómetro que nos indicará la temperatura del agua al salir del motor. Una vez pasada la válvula de compuerta, entra en el enfriador de quilla. Este enfriador es de la marca

Ferstrum, concretamente el modelo D2218OU – L, con un caudal máximo de $28\text{m}^3/\text{H}$.

Una vez está enfriada el agua, esta pasa por una válvula de compuerta y por un segundo termómetro. Este termómetro, nos servirá para saber que calor ha disipado el agua al pasar por el enfriador. El agua se dirigirá hacia la bomba, pero antes de llegar hasta ella, se encontrará con la conexión de salida de agua del tanque de expansión. La tubería de salida del tanque de expansión tiene un diámetro exterior de 33,4mm, y un espesor de 3,38mm. La bomba está situada en el interior del motor, y para poder unirla con el circuito se utilizan mangueras. La conexión de entrada en el tanque de expansión, está situada justo después de la refrigeración del motor. La tubería utilizada para la conexión, tiene de diámetro exterior de 33,4mm y de espesor 3,38mm.

6.2.3 Circuito de refrigeración de alta temperatura

El circuito de refrigeración de alta temperatura, tiene como función el enfriamiento de los cilindros, las culatas de los cilindros, el aire de carga y el turbocompresor. Está formado por una bomba centrífuga, un enfriador de quilla y un separador de aceite.

El agua dulce, sale del motor a través de una tubería de diámetro exterior 141,3mm y de espesor 3,4mm. Antes de que el agua llegue al enfriador, pasa por la conexión de entrada al separador de aceites. La tubería que conecta el circuito con el separador tiene de diámetro exterior 21,3mm y de espesor 2,77mm. El separador, separará el agua del posible aceite que se pueda encontrar y volverá a poner en circulación el agua. Mientras, el aceite se dirigirá a sentinas.

El agua dulce pasa por el termómetro, este nos indicará la temperatura de entrada en el enfriador, y una válvula de compuerta hasta que finalmente entra en el enfriador de quilla. Este enfriador fue fabricado por la empresa Frestrum, concretamente es el modelo D2296 – L. Una vez enfriado, vuelve a pasar por otra válvula de compuerta y un termómetro. Este, nos indicará la temperatura de salida del enfriador, de manera que podremos observar el funcionamiento de este. El agua se dirige hacia la bomba para volver a efectuar el recorrido, pero antes, se encontrará con la conexión de salida del separador de aceites. La tubería que conecta la salida de agua dulce del separador al circuito, tiene un diámetro exterior de 17,2mm y espesor 2,3mm.

6.2.4 Circuito de refrigeración de los motores auxiliares

El circuito de refrigeración de los generadores, es el más sencillo de todos, ya que la conexión directa del generador con el enfriador de quilla sin ningún otro elemento de especial importancia.

El agua sale del generador, a través de una tubería con un diámetro exterior de 48,3mm y un espesor de 3,68mm. Antes de entrar al enfriador, pasa por un termómetro, que nos indicará la temperatura de entrada de agua dulce, y una válvula de compuerta. El enfriador de quilla, es de la empresa Frestrum concretamente el modelo BN10105U – L. Una vez enfriado, el agua vuelve al generador, no sin antes pasar por otra válvula de compuerta y un termómetro que indicará la temperatura de salida del agua dulce.

7. Cálculos del sistema de refrigeración del Salvador Dalí

A continuación, se ha ejecutado los cálculos necesarios para la instalación de refrigeración de agua dulce de uno de los motores principales del Salvador Dalí. A consecuencia de no tener todos los datos necesarios, realizaremos estimaciones de los datos disponibles. Todos los cálculos ejecutados a continuación, podrán ser utilizados por cualquiera de los dos motores de propulsión del remolcador.

7.1 Calculo de las pérdidas

Para poder calcular las pérdidas se hará uso de la fórmula de Bernoulli:

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + h_{prim} + h_{sec}$$

Dónde:

- P_1 = Presión de salida de la bomba.
- V_1 = Velocidad del fluido en la salida de la bomba.
- Z_1 = Altura de la bomba.
- P_2 = Presión de entrada en el box-cooler.
- V_2 = Velocidad en la entrada en el box-cooler.
- Z_2 = Altura del box-cooler.
- h_{prim} = Pérdidas primarias.

- h_{sec} = Pérdidas secundarias.
- g = Gravedad.
- ρ = Densidad del fluido.

7.1.1 Cálculo de pérdidas por diferencia de altura

Las pérdidas por diferencia de altura, tal como su nombre indica, son debidas a la diferencia de altura entre la bomba y el box-cooler. Sabiendo que el box-cooler está situado en la quilla misma, y suponiendo que la bomba está situada en la parte superior del motor. Se puede suponer que la diferencia de altura será de unos 2 metros, (La altura del motor es de 2 metros).

$$Z_2 - Z_1 = 2m$$

7.1.2 Cálculo de las pérdidas primarias

Estas pérdidas son producidas por la fricción entre la tubería y el fluido. Sabiendo que la fórmula de las pérdidas primarias es:

$$h_{\text{prim}} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

Dónde:

- f = Factor de fricción.
- L = Longitud de la tubería.

- D = Diámetro de la tubería.
- V = Velocidad del fluido.
- g = Gravedad.

Para poder saber el factor de fricción, utilizaremos el diagrama de Moody, pero en este caso nos encontramos con tuberías de diferentes diámetros, por lo que deberemos dividir el sistema en varios tramos.

- División del circuito intercambiadores varios:
 - Tramo 1: entre la salida del enfriador de quilla y la entrada de la bomba (DN80).
 - Tramo 2: Entre la salida de la bomba hasta las diferentes entradas de los intercambiadores (DN80).
 - Tramo 3: Entre el intercambiador de combustible (DN32).
 - Tramo 4: Entre el intercambiador del aceite del embrague (DN65).
 - Tramo 5: Entre el intercambiador de maniobra
 - Tramo 6: Entre el intercambiador del propulsor
 - Tramo 7: Entre el los intercambiadores y los enfriadores (DN80).
- División del circuito de baja temperatura:
 - Tramo 1: Entre el enfriador y la bomba (DN80).
 - Tramo 2: Entre la bomba y el Enfriador (DN80).
- División del circuito de alta temperatura.
 - Tramo 1: Entre la bomba y el enfriador (DN125).
 - Tramo 2: Entre el enfriador y la bomba (DN125).

- Tramo 3: Entrada separador de aceites (DN15).
- Tramo 4: Salida del separador (DN10).

Para poder calcular el coeficiente de fricción, calcularemos su relación entre ϵ/D , sabiendo que por el acero estirado inoxidable tiene una ϵ de 0,0024, su número de Reynolds para encontrar su factor de fricción.

Para poder calcular el número de Reynolds, debemos antes calcular su velocidad. Para conocer la velocidad utilizaremos la siguiente fórmula:

$$Q = V \cdot A$$

Que a su vez:

$$A = \pi \cdot r^2 = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

Sabiendo el caudal máximo de los intercambiadores, podremos saber las velocidades en cada uno de los tramos.

Tabla del circuito de intercambiadores varios:

Tramo	Q(m ³ /H)	D(mm)	V(m/s)
1	39,000	85,850	1,872
2	39,000	85,850	1,872
3	1,200	38,640	0,284
4	28,000	69,950	2,025
5	4,900	69,950	0,354
6	4,900	69,950	0,354
7	39,000	85,850	1,872

Tabla del circuito de baja temperatura:

Tramo	D(mm)	$v(m^2s^{-1})$	V(m/s)	R_n
1	85,850	1,010E-06	1,344	1,14E+08
2	85,850	1,010E-06	1,344	1,14E+08

Tabla del circuito de alta temperatura:

Tramo	Q(m ³ /H)	D(mm)	V(m/s)
1	84,000	137,900	1,563
2	84,000	137,900	1,563

Una vez encontrada la velocidad del fluido, podremos calcular su número Reynolds. También calcularemos la relación entre diámetro y rugosidad

$$R_n = \frac{D \cdot V}{\vartheta}$$

Tabla del circuito de intercambiadores varios:

Tramo	D(mm)	$v(m^2s^{-1})$	V(m/s)	R_n
1	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08
2	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08
3	38,640	1,010E-06	0,284	1,09E+07
4	69,950	1,010E-06	2,025	1,40E+08
5	69,950	1,010E-06	0,345	2,39E+07
6	69,950	1,010E-06	0,345	2,39E+07
7	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08

Tabla del circuito de baja temperatura:

Tramo	D(mm)	$\nu(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	V(m/s)	R_n
1	85,850	1,010E-06	1,344	1,14E+08
2	85,850	1,010E-06	1,344	1,14E+08

Tabla del circuito de alta temperatura:

Tramo	D(mm)	$\nu(\text{m}^2\text{s}^{-1})$	V(m/s)	R_n
1	137,900	1,010E-06	1,563	2,13E+08
2	137,900	1,010E-06	1,563	2,13E+08

A continuación, calcularemos las pérdidas primarias con la ayuda del diagrama de Moody.

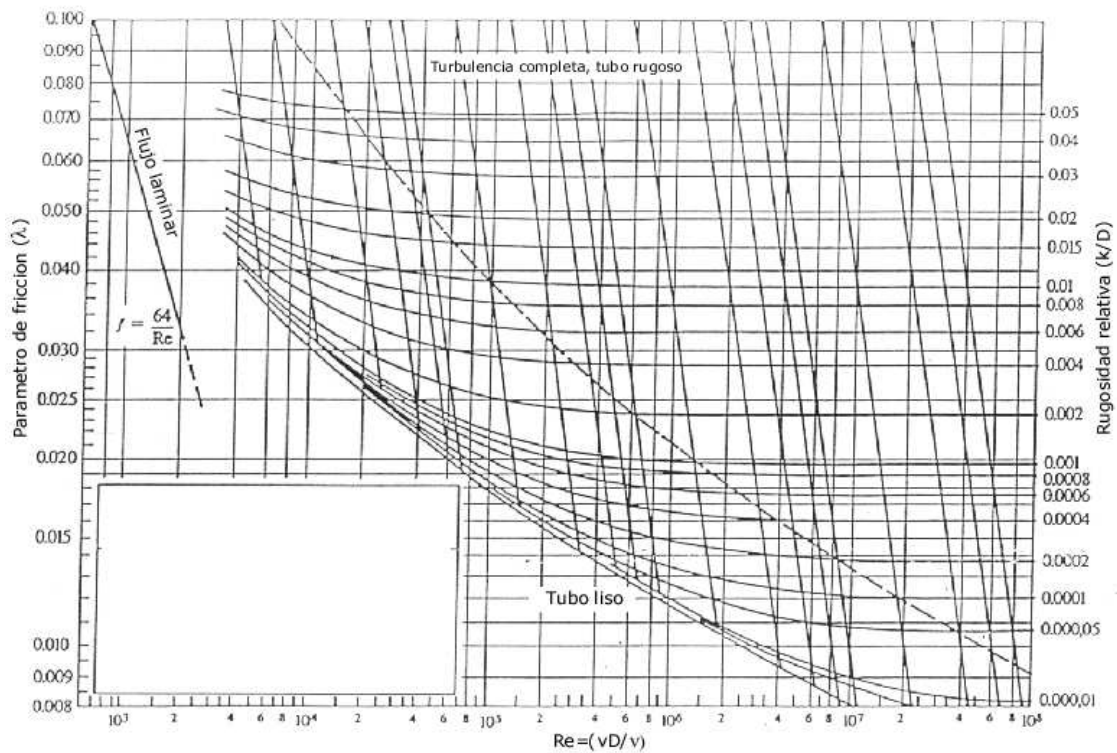


Diagrama de Moody

También, tenemos la posibilidad de utilizar la siguiente fórmula para conocer el coeficiente de fricción:

$$\frac{1}{f} = 2 \log \frac{D}{2 \cdot \varepsilon} + 1,74$$

Para poder calcular las pérdidas primarias, necesitamos las longitudes de las tuberías, en este caso, al no tener el dato se han utilizado datos representativos.

Tabla del circuito de intercambiadores varios:

Tramo	D(mm)	V(m/s)	L(m)	R _n	ε/D	f	h _{prim} (m)
1	85,850	1,872	3,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	0,934
2	85,850	1,872	4,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	1,245
3	38,640	0,284	1,500	1,087E+07	6,211E-05	0,255	0,041
4	69,950	2,025	1,500	1,402E+08	3,431E-05	0,170	0,762
5	69,950	0,345	1,500	23894153	3,431E-05	0,170	0,022
6	69,950	0,345	1,500	23894153	3,431E-05	0,170	0,022
7	85,850	1,872	3,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	0,934

Tabla del circuito de baja temperatura:

Tramo	D(mm)	V(m/s)	L(m)	R _n	ε/D	f	h _{prim} (m)
1	85,850	1,344	4,500	3,726E+07	2,796E-05	0,150	0,722
2	85,850	1,344	4,500	3,726E+07	2,796E-05	0,150	0,722

Tabla del circuito de alta temperatura:

Tramo	D(mm)	V(m/s)	L(m)	R _n	ε/D	f	h _{prim} (m)
1	137,900	1,563	2,500	1,300E+08	1,740E-05	0,114	0,256
2	137,900	1,563	2,500	1,300E+08	1,740E-05	0,114	0,256

7.1.3 Pérdidas secundarias

Las pérdidas secundarias, son producidas por los accesorios o elementos por donde el fluido debe pasar. Estas pérdidas se pueden calcular fácilmente utilizando la siguiente fórmula:

$$h_{\text{sec}} = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

La K de las válvulas, y otros elementos, los podemos encontrar en la siguiente tabla:

	Nominal diameter, in									
	Screwed				Flanged					
	1/2	1	2	4	1	2	4	6	8	20
Valves (fully open):										
Globe	14	8.2	6.9	5.7	13	8.5	6.0	5.8	5.5	
Gate	0.30	0.24	0.16	0.11	0.80	0.35	0.16	0.07	0.03	
Swing check	5.1	2.9	2.1	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	
Angle	9.0	4.7	2.0	1.0	4.5	2.4	2.0	2.0	2.0	
Elbows:										
45° regular	0.39	0.32	0.30	0.29						
45° long radius					0.21	0.20	0.19	0.16	0.14	
90° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.50	0.39	0.30	0.26	0.21	
90° long radius	1.0	0.72	0.41	0.23	0.40	0.30	0.19	0.15	0.10	
180° regular	2.0	1.5	0.95	0.64	0.41	0.35	0.30	0.25	0.20	
180° long radius					0.40	0.30	0.21	0.15	0.10	
Tees:										
Line flow	0.90	0.90	0.90	0.90	0.24	0.19	0.14	0.10	0.07	
Branch flow	2.4	1.8	1.4	1.1	1.0	0.80	0.64	0.58	0.41	

Tabla de valores de K

En el caso del circuito de intercambiadores varios encontramos los siguientes elementos:

Tramo	K	1	2	3	4	5	6	7
Válvula Globo	14			2	2	1	1	
Válvula compuerta	0,3	1				1	1	1
válvula de retención	5,1		1					
T's	2,4	2	3					3
Codo 90°	2	2	2	2	2	2	2	2
Total K		9,1	16,3	32	32	18,3	18,3	11,5

En el caso del circuito de baja temperatura:

Tramo	K	1	2
Válvula Globo	14		
Válvula compuerta	0,3	1	1
válvula de retención	5,1		
T's	2,4		
Codo 90°	2	2	2
Total K		4,3	4,3

En el caso del circuito de alta temperatura:

Válvula Globo	14		
Válvula compuerta válvula de retención	0,3	1	1
T's	2,4	1	1
Codo 90°	2	2	2
Total K		6,7	6,7

Obteniendo así, las pérdidas secundarias siguientes:

Circuito de intercambiadores varios:

Tramo	V(m/s)	K	$h_{sec}(m)$
1	1,872	9,100	1,625
2	1,872	16,300	2,911
3	0,284	32,000	0,132
4	2,025	32,000	6,688
5	0,345	18,300	0,111
6	0,345	18,300	0,111
7	1,872	11,500	2,054

Circuito de baja temperatura:

Tramo	V(m/s)	K	$h_{sec}(m)$
1	1,344	4,300	0,396
2	1,344	4,300	0,396

Circuito de alta temperatura:

Tramo	V(m/s)	K	$h_{sec}(m)$
1	1,563	6,700	0,834
2	1,563	6,700	0,834

Despreciaremos las pérdidas producidas en el interior del motor, y en los enfriadores, ya que no tenemos datos suficientes.

La tabla general de pérdidas de los tres circuitos es el siguiente:

Circuito de intercambiadores varios:

Tramo	$h_{sec}(m)$	$h_{prim}(m)$	Total
1	1,625	0,934	2,559
2	2,911	1,245	4,156
3	0,132	0,041	0,173
4	6,688	0,762	7,450
5	0,111	0,022	0,133
6	0,111	0,022	0,133
7	2,054	0,934	2,988
Total	13,632	3,960	17,592

Circuito de baja temperatura:

Tramo	$h_{sec}(m)$	$h_{prim}(m)$	Total
1	0,396	0,722	1,118
2	0,396	0,722	1,118
Total	0,792	1,444	2,236

Circuito de alta temperatura:

Tramo	$h_{sec}(m)$	$h_{prim}(m)$	Total
1	0,834	0,256	1,090
2	0,834	0,256	1,090
Total	1,668	0,512	2,180

7.1.4 Cálculo de la bomba

Una vez calculadas todas las pérdidas, podremos saber que presiones tiene que trabajar la bomba. Utilizando la ecuación especificada anteriormente de Bernoulli, donde la primera parte de la ecuación será la salida de la bomba, y la segunda la entrada del enfriador. Al no saber la presión de diseño de los intercambiadores, calcularemos la diferencia de presión entre P_1 y P_2 .

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{V_1^2}{2 \cdot g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + \frac{V_2^2}{2 \cdot g} + Z_2 + h_{prim} + h_{sec}$$

- Circuito de intercambiadores varios: $\Delta P = 1,3 \text{ bar}$
- Circuito de baja temperatura: $\Delta P = 0,2 \text{ bar}$
- Circuito de alta temperatura: $\Delta P = 0,2 \text{ bar}$

Esto, nos indica que la presión del impulso de la bomba será 1,3bar menor, en el caso del circuito de intercambiadores varios, que en el caso de la presión máxima a soportar por el intercambiador

8. Posibles mejoras

El principal problema de este sistema de refrigeración, es la poca efectividad del enfriador de quilla en los remolques laterales. Al estar situado el enfriador del circuito de intercambiadores varios en el pantoque, cuando el remolcador remolca otro buque lateralmente, restringe la circulación del agua de mar. Consecuentemente, el enfriador no puede enfriar correctamente y sube la temperatura del motor principal.

Existen tres posibles soluciones.

- La primera solución, sería aprovechar el sistema anteriormente mencionado para mejorar el mantenimiento del box-cooler. Al rociar con agua de mar los tubos del intercambiador, se conseguiría un enfriamiento mayor, ya que ayudaríamos a la circulación del agua.
- La segunda posibilidad, sería aprovechar que cada uno de los motores principales tiene su box-cooler en particular. Cada uno de ellos está situado en un costado diferente. Así, si el remolque se ejecuta por estribor, el box-cooler de babor queda libre de interferencias. Si se conectaran los circuitos a los dos box-coolers con los dos circuitos, en caso de que uno de ellos, no tuviera la posibilidad de trabajar en buenas condiciones, podríamos ayudar con el otro para bajar la temperatura. Para asegurarnos que el mismo caudal que entra en el intercambiador compartido, es el que vuelve, colocaremos controladores de caudal.

- La tercera posibilidad, es la que estudia la posibilidad de dividir el box-cooler en dos, es decir, tener dos box-cooler situados en lugares diferentes para cada circuito de refrigeración. Esto reduciría de una forma importante, la temperatura alcanzada por el motor en caso de remolque lateral.

8.1. Cálculos de la mejora.

A continuación, se efectuarán los cálculos para la modificación del sistema para la segunda mejora

En primer lugar, calcularemos el aumento de pérdidas primarias, suponiendo que solo funciona uno de los motores, y deseamos enfriar con los dos box-cooler a la vez el mismo motor.

Tramo	D(mm)	$v(m^2s^{-1})$	V(m/s)	R_n
1	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08
2	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08
3	38,640	1,010E-06	0,284	1,09E+07
4	69,950	1,010E-06	2,025	1,40E+08
5	69,950	1,010E-06	0,345	2,39E+07
6	69,950	1,010E-06	0,345	2,39E+07
7	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08
Mejora	85,850	1,010E-06	1,872	1,59E+08

Tramo	D(mm)	V(m/s)	L(m)	R_n	ε/D	f	$h_{prim}(m)$
1	85,850	1,872	3,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	0,934
2	85,850	1,872	4,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	1,245
3	38,640	0,284	1,500	1,087E+07	6,211E-05	0,255	0,041
4	69,950	2,025	1,500	1,402E+08	3,431E-05	0,170	0,762
5	69,950	0,345	1,500	23894153	3,431E-05	0,170	0,022
6	69,950	0,345	1,500	23894153	3,431E-05	0,170	0,022
7	85,850	1,872	3,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	0,934
mejora	85,850	1,872	12,000	1,591E+08	2,796E-05	0,150	3,734

A continuación las pérdidas secundarias.

Tramo	K	1	2	3	4	5	6	7	mejora
Válvula Globo	14			2	2	1	1		
Válvula compuerta	0,3	1				1	1	1	2
válvula de retención	5,1		1						
T's	2,4	2	3					3	
Codo 90°	2	2	2	2	2	2	2	2	4
Total K		9,1	16,3	32	32	18,3	18,3	11,5	8,6

Tramo	V(m/s)	K	$h_{sec}(m)$
1	1,872	9,100	1,625
2	1,872	16,300	2,911
3	0,284	32,000	0,132
4	2,025	32,000	6,688
5	0,345	18,300	0,111
6	0,345	18,300	0,111
7	1,872	11,500	2,054
Mejora	1,872	8,6	1,536

Calculamos las pérdidas totales.

Tramo	$h_{\text{sec}}(\text{m})$	$h_{\text{prim}}(\text{m})$	Total
1	1,625	0,934	2,559
2	2,911	1,245	4,156
3	0,132	0,041	0,173
4	6,688	0,762	7,450
5	0,111	0,022	0,133
6	0,111	0,022	0,133
7	2,054	0,934	2,988
Mejora	1,536	3,734	5,270
Total	15,168	7,694	22,862

Así, aplicando el teorema de Bernoulli, sabemos que la diferencia de presiones entre la entrada del enfriador, y la salida de la bomba debe ser de 2 bar.

9. Conclusiones

Bajo mi punto de vista el proyecto final de carrera, tiene como principal función poner en práctica los conocimientos aprendidos a lo largo de la carrera. Este proyecto, me ha permitido aplicar los conocimientos sobre sistemas de refrigeración aprendidos. Además, durante el proceso, he podido aprender más sobre estos.

Durante la visita al remolcador y la entrevista al jefe de máquinas de este, pude aprender de su experiencia, así como de sus conocimientos. Otra posibilidad que me otorgo la visita al remolcador, fue observar en directo el funcionamiento de los sistemas que he estudiado durante la carrera.

Asimismo, este proyecto me ha dado a conocer el tipo de intercambiador Box-cooler, así como sus ventajas e inconvenientes. Además, durante el desarrollo del proyecto, se han intentado dar soluciones a su principal problema, la incrustación de vida.

Además, en el proyecto encontramos las posibles mejoras para eliminar el principal problema de diseño del sistema de refrigeración del remolcador Salvador Dalí, habiendo precisado de la ejecución de los cálculos necesarios para una de estas mejoras.

10. Bibliografía

- Ramon Grau Mur y Manuel Rodríguez Castillo. Apuntes de la asignatura de mantenimiento y sistemas auxiliares. Facultat de Náutica. UPC. 2009
- Vicente Saénz Marín y Adrià Prada. Apuntes de la asignatura de construcción naval y propulsores. Facultat de Náutica. UPC. 2009
- Julio García Espinosa. Apuntes de la asignatura de proyectos. Facultat de Náutica. UPC. 2009
- Levenspiel, Octave. *Flujo de fluidos e intercambio de calor*. 1ªed. Barcelona: Reverté, DL, 1993
- White, Frank. *Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías*. 1ªed. Méjico: Ed. McGraw Hill, DL, 1987
- Agüera Soriano, José. *Mecánica de fluidos incompresibles y turbomáquina hidráulicas*. 5ªed. Madrid: Ciencia 3, DL, 2002.
- Fernández Diez, Pedro *Bombas centrifugas y volumétricas*. Universidad de Cantabria.
- White, Frank. *Mecanica de fluidos*. Ed. McGraw-Hill
- W. Greene, Richard. *Válvulas, selección, uso y mantenimiento*. Ed Mc Graw-Hill

Anexos