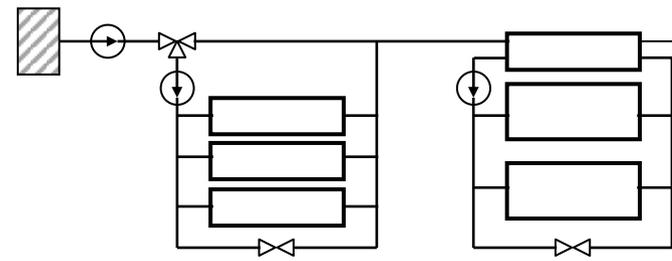


El Proyecto del Buque

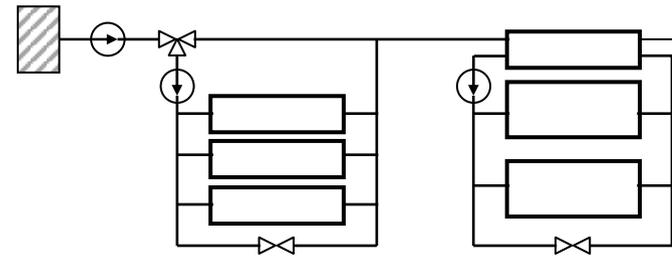
Sistemas básicos del buque

Sumario



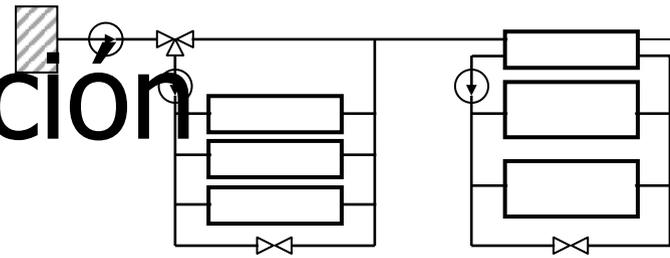
- Objetivos e introducción
- Sistema de Alimentación de Combustible
- Sistema Eléctrico
- Sistema de Refrigeración
- Sistema de Gobierno
- Conclusiones
- Bibliografía

Introducción



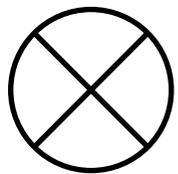
- El buque integra un gran número de sistemas de diverso tipo:
 - Sistema propulsivo
 - Sistema de alimentación de combustible
 - Sistema de amarre y fondeo
 - Sistema de manejo de carga
 - Sistema de gobierno
 - Sistema de calentamiento de la carga
 - Sistema de generación eléctrica
 - Sistema de enfriamiento
 - ...
- En esta lección se presentarán algunos de los más significativos sistemas del buque.
- Se indicarán los criterios básicos de diseño de estos sistemas.

Sistema Alimentación Combustible

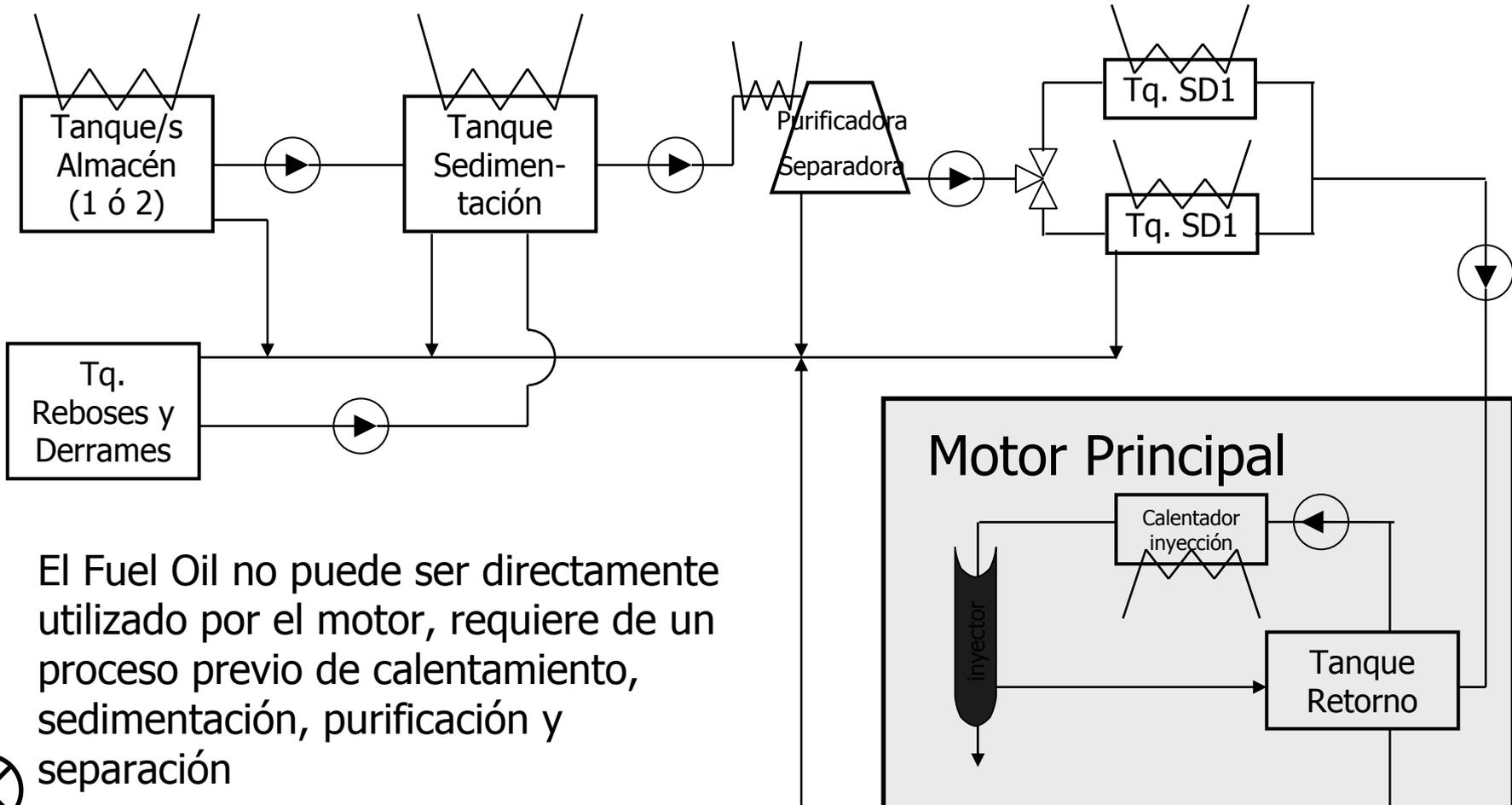
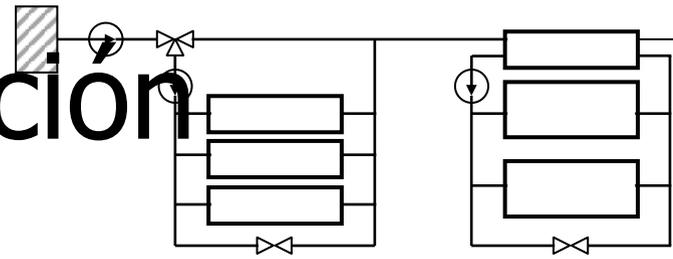


Sistema de Alimentación de Combustible

- Este sistema tiene como misión proveer de combustible al Motor Principal (MP) en las condiciones requeridas (cuando los Motores Auxiliares utilizan el mismo combustible que el MP, se utiliza el mismo sistema para ambos)
- Tomaremos como referencia el sistema más común en los buques mercantes, basado en un motor de explosión que consume Fuel Oil.
- Las características básicas del sistema vienen definidas por la autonomía, los usos y las especificaciones de los elementos.
- Los objetivos principales del diseño son asegurar un servicio adecuado y el menor consumo energético posible.

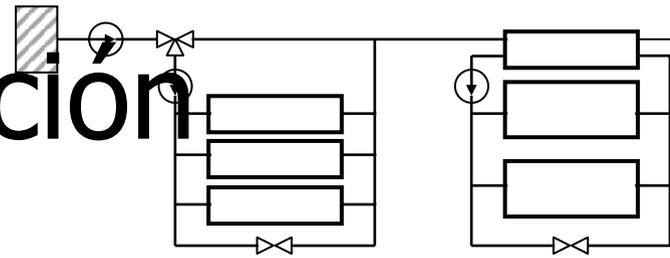


Sistema Alimentación Combustible



El Fuel Oil no puede ser directamente utilizado por el motor, requiere de un proceso previo de calentamiento, sedimentación, purificación y separación

Sistema Alimentación Combustible

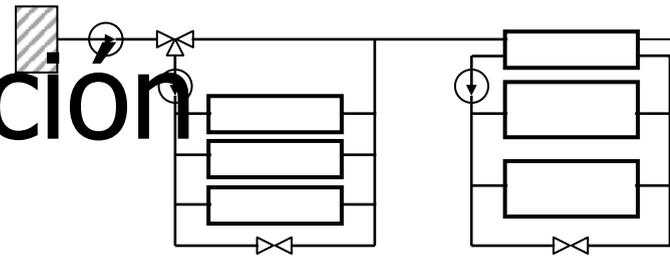


Volumen de combustible

$$V_{\text{Combustible}} = V_{\text{Tq.Alimentación}} + V_{\text{Tq.Sedimentación}} + V_{\text{Tq.ServicioDiario}} + V_{\text{Tq.Reboses}} + V_{\text{Tuberías}}$$

- Los volúmenes considerados son los utilizables (aprox. un 95% del total del tanque)
- El volumen de tuberías es muy pequeño frente al resto y se puede despreciar

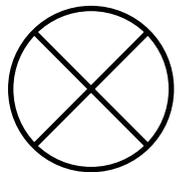
Sistema Alimentación Combustible



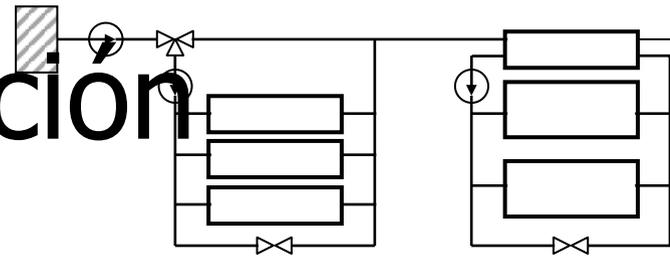
Autonomía

$$\text{Autonomía} = \frac{\rho \cdot V_{\text{Combustible}} \cdot V_B}{P \cdot C_e + P_a \cdot C_{ea} + P_c \cdot C_{ec}}$$

- V_B velocidad de servicio del buque (a la que se consideran los consumos)
- P potencia del motor principal (MP) en servicio
- P_a potencia motores auxiliares (MMAA) si consumen el mismo combustible que el MP
- P_c potencia de la caldera auxiliar (si existe)
- C_e consumo específico MP
- C_{ea} consumo específico MMAA
- C_{ec} consumo específico caldera auxiliar
- ρ densidad del combustible



Sistema Alimentación Combustible



Dimensionamiento de tanques

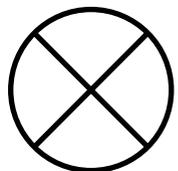
- El volumen de combustible necesario se calcula a partir de la autonomía.
- El volumen del tanque de sedimentación se dimensiona como un 15% más del consumo de 24h del MP.

$$V_{\text{Tq.Sedimentación}} = 1.15 \cdot 24h \cdot \frac{P \cdot C_e}{\rho}$$

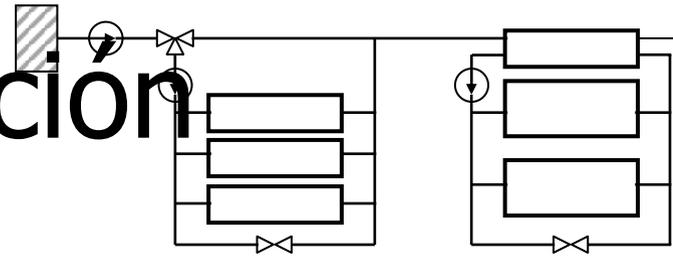
- El volumen de los tanques de servicio diario se dimensionan como un 10% más del consumo de 8h (un turno) o 24h (un día) del MP.

$$V_{\text{Tq.ServicioDiario}} = 1.10 \cdot 8h \cdot \frac{P \cdot C_e}{\rho}$$

- El volumen del tanque de reboses se calcula (aproximadamente) de manera similar al de servicio diario (o 1 h de consumo del motor principal si el volumen es excesivo).
- El volumen del tanque de alimentación se calcula como diferencia entre el volumen total y el del resto de tanques.



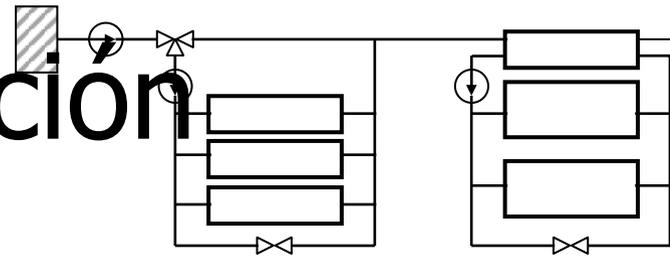
Sistema Alimentación Combustible



Calentamiento de tanques

- Las temperaturas de funcionamiento del sistema vienen definidas por las especificaciones de los elementos (depuradora e inyección), las características del combustible y el requisito de mínimo consumo energético.
- $T_{Tq.Alimentación} \cong 40-47^{\circ}C$ (mínimo para poder bombear)
- $T_{Tq.Sedimentación} \cong 60^{\circ}C$
- $T_{Tq.Reboses} \cong 45-60^{\circ}C$ (la entrada es a $\cong 20^{\circ}C$)
- $T_{Tq.ServicioDiario} \cong 90^{\circ}C$
- $T_{Inyección} \cong 110^{\circ}C$
- Las depuradoras requieren el combustible entre 80 y $100^{\circ}C$, por lo que se suele disponer un sistema de calentamiento adicional en su alimentación.

Sistema Alimentación Combustible



Calentamiento de tanques

- Una forma simple de evaluar la potencia necesaria para calentar un tanque es:

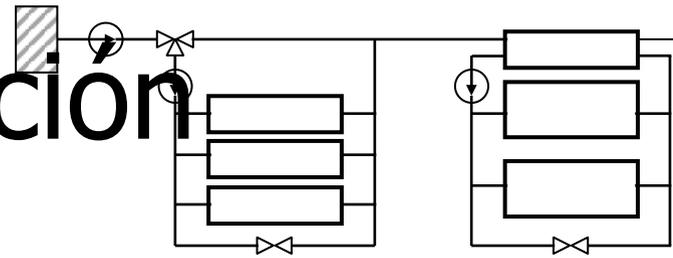
$$\dot{Q} = \frac{\rho \cdot c \cdot V \cdot \delta T}{\delta t} + \sum_{\text{superficies}} K_j \cdot S_j \cdot (T_j^{\text{exterior}} - T_j^{\text{interior}})$$

- δt incremento de tiempo elegido para el incremento de temperatura
- δT incremento de temperatura
- V volumen de combustible en el tanque
- c calor específico del combustible
- K_j coeficiente de transmisión de calor de la superficie j
- S_j área de la superficie j
- T_j temperatura en la superficie j
- Las necesidades de calefacción instantánea (por ejemplo calentamiento a la entrada de las depuradoras o para la inyección) se pueden estimar por:

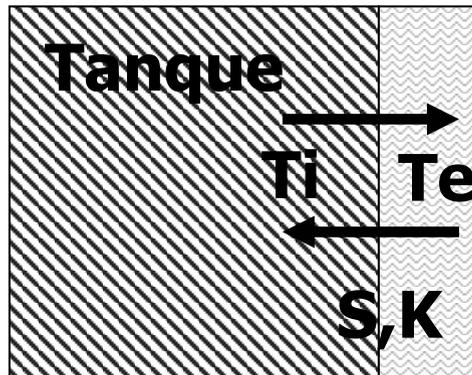
$$\dot{Q} = \rho \cdot c \cdot q \cdot \delta T$$

- q caudal de combustible

Sistema Alimentación Combustible



Cálculo de las pérdidas de calor en los tanques

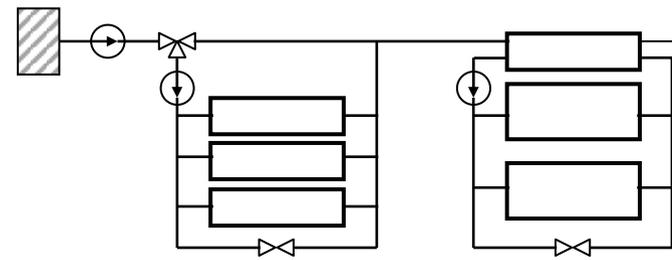


Zona	Medio Exterior	K (KJ/sm2°C)
Fondo	Agua	0.004652
Pantoque inferior	Agua	0.004652
Pantoque	Agua	0.017445
Costado	Aire	0.015119
Cubierta	Aire	0.006978
Mamparo	Carga	0.004652
Mamparo	Vacío	0.005815
Mamparo	Cámara de máquinas	0.004652

$$\dot{Q}_{\text{Pérdidas}} = \sum_{\text{superficies}} K_j \cdot S_j \cdot (T_j^{\text{exterior}} - T_j^{\text{interior}})$$

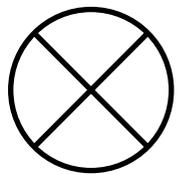
Temperaturas Exteriores (referencia)	
Agua mar	0°C
Aire atmosférico	-5°C
Cámara de máquinas	20°C
Cámara bombas	15°C
Aire (tq.vacío)	5°C

Sistema Eléctrico

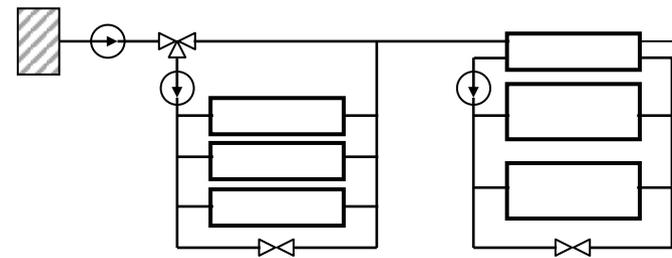


Sistema Eléctrico

- Este sistema tiene como misión generar y/o proveer de energía eléctrica a los diferentes consumidores del buque.
- Las características básicas del sistema vienen definidas por los usos, las especificaciones de los elementos y el requerimiento de menor consumo energético posible.
- Las necesidades de energía eléctrica son muy dependientes de la situación de operación y por ello el dimensionamiento del sistema requiere la realización de un balance eléctrico.
- El balance eléctrico se basa en la estimación del consumo eléctrico medio en cada situación de operación.

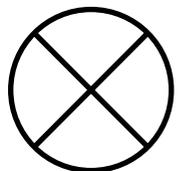


Sistema Eléctrico

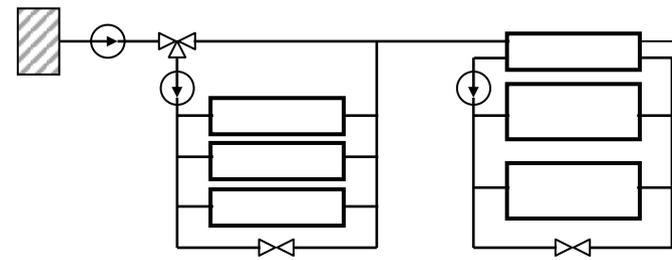


Proyecto Eléctrico/Balance Eléctrico

- Se definen las diferentes situaciones de operación del barco, entre las cuales hay diferencias significativas de consumo eléctrico (p.ej Navegación, Maniobra atraque, Puerto, Carga, ...)
- Se listan los diferentes consumidores eléctricos en una tabla, indicando el número de unidades instaladas y su potencia máxima.
- Se asignan factores de utilización para cada situación y unidad.
- Se determina el consumo medio en cada condición, como suma de los consumos medios de cada unidad.
- Se asigna un margen de seguridad al consumo medio de cada situación.
- Se calcula el número y capacidad de los generadores eléctricos y baterías, de manera que se cumplan las siguientes características:
 - Se han de poder servir todos los consumos en cada situación.
 - El sistema de generación/almacenamiento habrá de tener la flexibilidad suficiente como para atender todas las situaciones, funcionando con el máximo rendimiento posible.
 - El coste de instalación y mantenimiento del sistema será mínimo.



Sistema Eléctrico

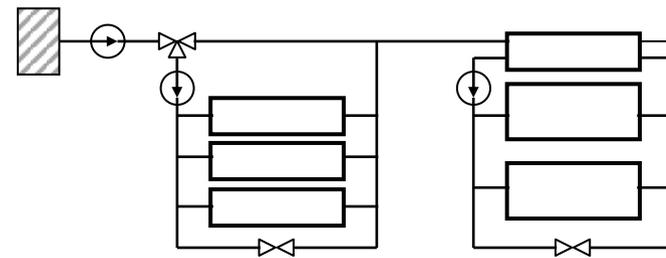


Proyecto Eléctrico/Balance Eléctrico

Elemento	No. Instalado	Potencia (Kw)	Pot. Total (Kw)	Situación 1		
				NU	Fu	Pot. Media (Kw)
Bomba Agua Salada	2	25	50	1	0.8	20

- Número de unidades instaladas.
- Consumo punta por unidad (Pmax): potencia máxima de la unidad instalada.
- Potencia total instalada.
- Factor de utilización (Fu): Factor empírico que mide el régimen medio de funcionamiento en una situación.
- Número de unidades en servicio (NU) en una situación.
- Consumo (potencia) medio en una situación: $Fu \times NU \times Pmax$

Sistema Eléctrico

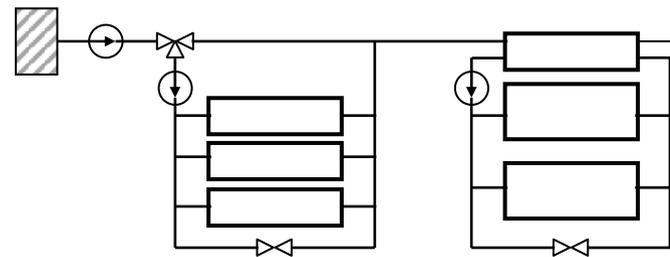


Proyecto Eléctrico/Balance Eléctrico

Elemento	No. Instalado	Potencia (Kw)	Pot. Total (Kw)	Situación 1 (Navegación)		
				NU	Fu	Pot. Media (Kw)
Bomba Agua Salada	2	25	50	1	0.8	20
Bomba Agua Dulce	2	10	20	1	0.8	8
...						
Total			Σ			Σ

- Se determina el consumo medio en cada condición, como suma de los consumos medios de cada unidad.
- Se asigna un margen de seguridad al consumo medio de cada situación.
- Se calcula el número y capacidad de los generadores eléctricos y baterías, de manera que se cumplan las siguientes características:
 - Se han de poder servir todos los consumos en cada situación.
 - El sistema de generación/almacenamiento habrá de tener la flexibilidad suficiente como para atender todas las situaciones, funcionando con el máximo rendimiento posible.
 - El coste de instalación y mantenimiento del sistema será mínimo.

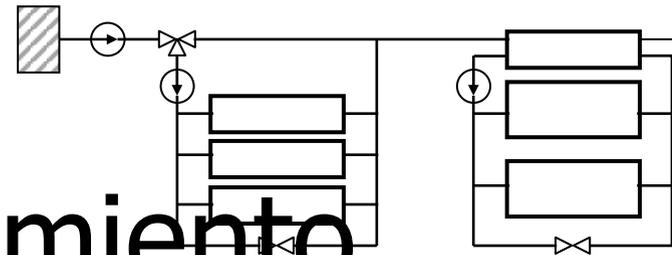
Sistema Eléctrico



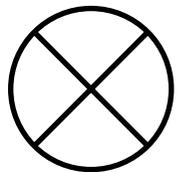
Proyecto Eléctrico (Consideraciones de diseño)

- Si se instala un único generador, en condiciones de carga mínima, su rendimiento será muy bajo (los equipos tienen un límite inferior de potencia generada).
- Si se instalan varios generadores diferentes para atender a las diferencias de consumo, el sistema tendrá gran flexibilidad y alto rendimiento, pero se incrementarán los costes de instalación y mantenimiento, y se necesitarán más respetos.
- Si se instalan varios generadores iguales, el número de respetos necesarios disminuirá, pero puede que el rendimiento del sistema sea menor en condiciones de carga elevadas.
- El sistema debe tener capacidad de responder a la caída de (al menos) un generador, por lo que debe haber un equipo de respeto.

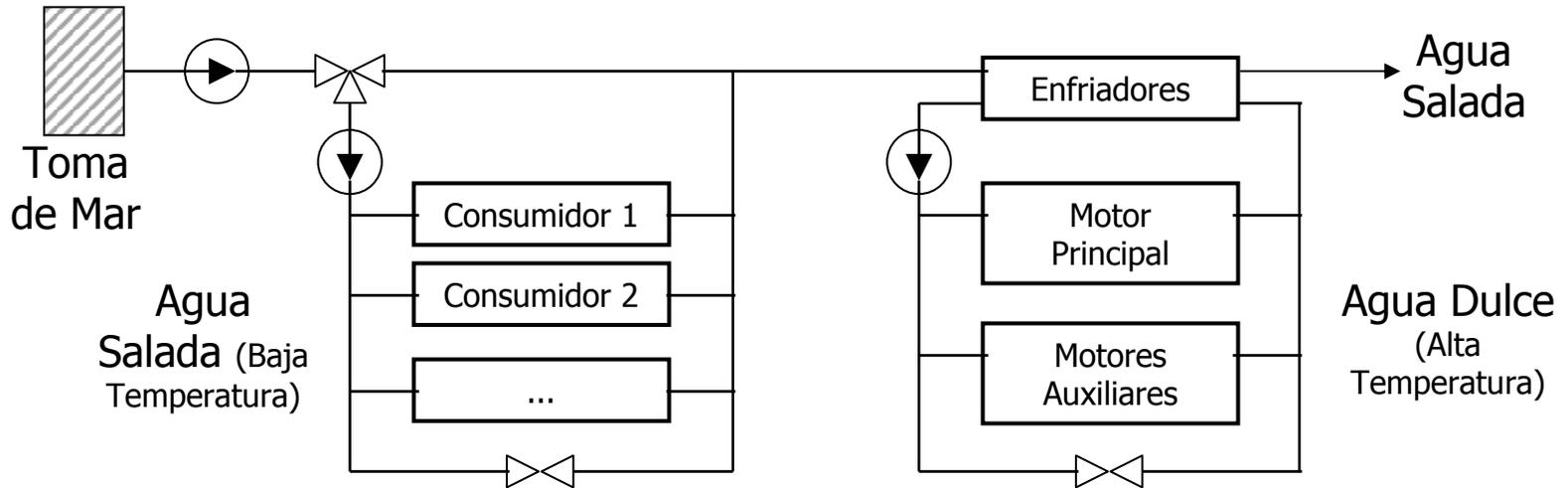
Sistema de Enfriamiento



- Sistema de Enfriamiento
- Existen a bordo diferentes equipos que requieren para su funcionamiento de un servicio de refrigeración (culata, cilindros, turbosoplante, aceite, evaporador, ...).
- El único líquido refrigerante para ser utilizado a bordo cuya disponibilidad es inmediata, ilimitada y gratuita es el agua de mar, por lo que es evidente su utilización en este sistema.
- Lamentablemente, el agua marina es muy corrosiva y su uso directo depende de las especificaciones de PH, cloro, sulfato y dureza del elemento. Es por ello que en la mayoría de los casos se instalan circuitos de refrigeración separados para el Agua Salada y Agua Dulce (refrigerado a su vez por Agua Salada).
- Por otra parte, hay consumidores que requieren que el agua la refrigeración Alta temperatura (culata y camisas MP y MMAA, evaporador, ...) mientras que otros Baja Temperatura (aire admisión, aceite lubricante, ...), por lo que han de instalarse dos circuitos (cuasi-) independientes. Una opción es utilizar el agua, una vez refrigerados los elementos de Baja temperatura, para el circuito de Alta temperatura.
- Asimismo, por exigencia de diferentes elementos, el sistema debe ser precalentado, para acercarse a la temperatura de régimen.
- Los criterios principales del diseño son asegurar un servicio adecuado con el menor coste de instalación y mantenimiento.



Sistema de Enfriamiento

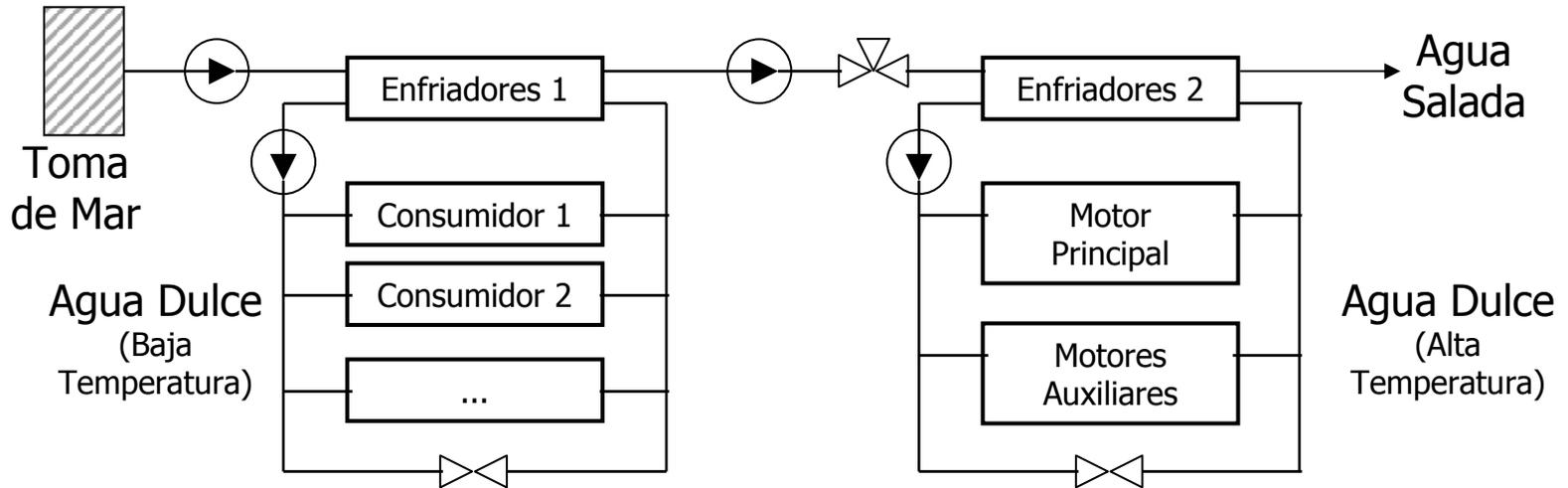


Esquema más tradicional: Hay un circuito de agua salada que refrigera directamente una serie de consumidores, mientras que un circuito de agua dulce enfría aquellos elementos de mayor compromiso.

Los caudales de agua y temperaturas de alimentación necesarios vienen definidos por las especificaciones de los elementos o teniendo en cuenta que:

$$Caudal = \frac{P_{\text{refrigeración}}}{\rho \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T^{\text{salida}} - T^{\text{entrada}})}$$

Sistema de Enfriamiento

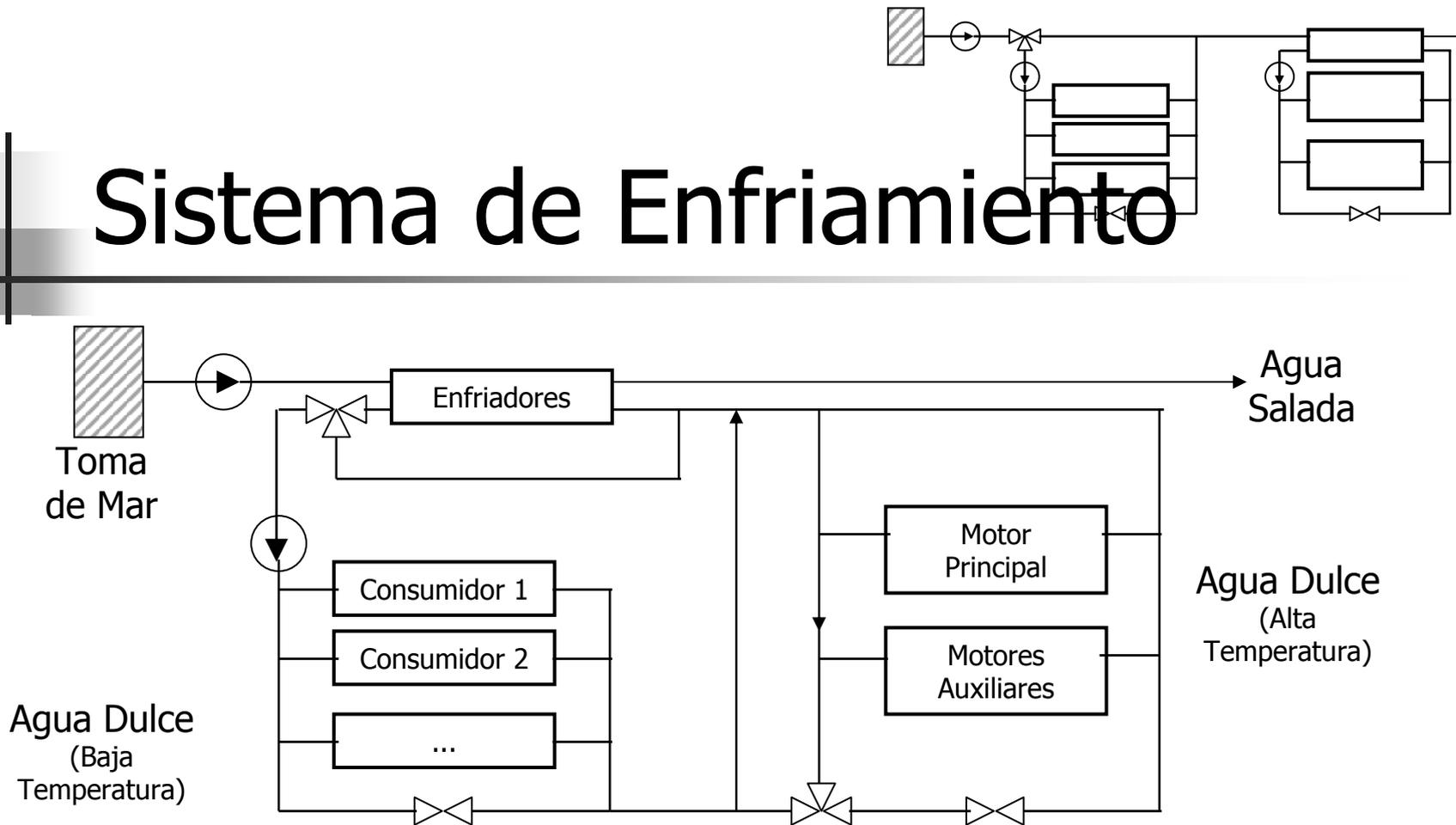


Esquema con circuitos AD-AS separados: Hay un circuito de agua dulce que refrigera los consumidores cuya alimentación es a menor temperatura, mientras que otro circuito enfría aquellos elementos de mayor temperatura de entrada.

Los caudales de agua y temperaturas de alimentación necesarios vienen definidos por las especificaciones de los elementos o teniendo en cuenta que:

$$Caudal = \frac{P_{\text{refrigeración}}}{\rho \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T^{\text{salida}} - T^{\text{entrada}})}$$

Sistema de Enfriamiento

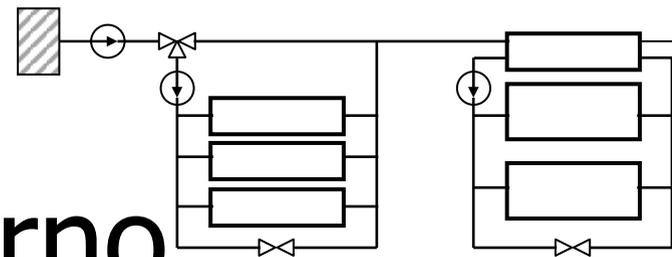


Esquema de enfriamiento centralizado: Hay un único circuito de agua dulce que refrigera todos los consumidores. La regulación de las temperaturas se hace mediante válvulas de control de caudal.

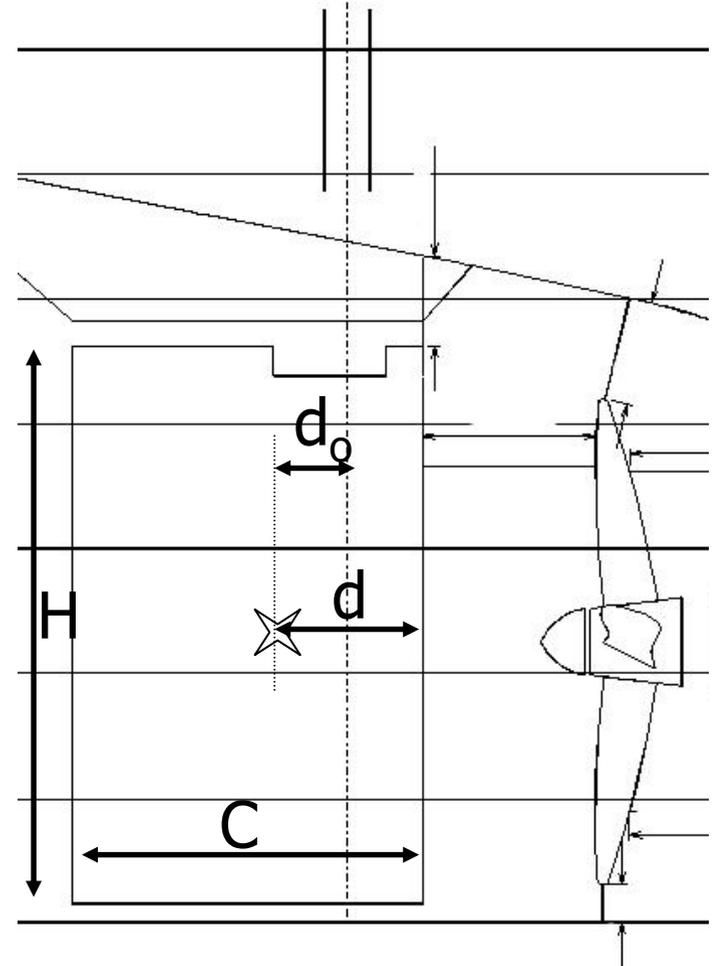
Los caudales de agua y temperaturas de alimentación necesarios vienen definidos por las especificaciones de los elementos, teniendo en cuenta que:

$$Caudal = \frac{P_{\text{refrigeración}}}{\rho \cdot c_{\text{agua}} \cdot (T^{\text{salida}} - T^{\text{entrada}})}$$

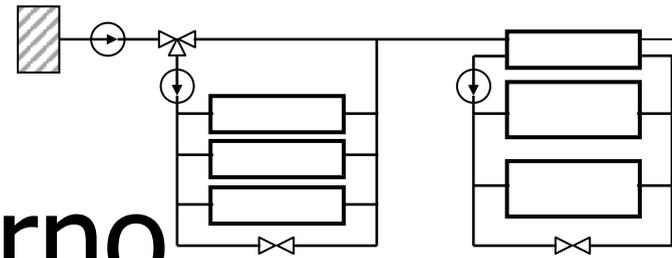
Sistema de Gobierno



- Sistema de Gobierno
 - Daremos aquí las indicaciones básicas para el proyecto de un sistema de gobierno típico, cuyos elementos definitorios son el timón y el servomotor.
- Las características principales del timón son:
 - C: cuerda del timón
 - H: altura del timón
 - d: distancia del borde de ataque a la vertical del centro de presiones de la pala
 - d_o : distancia del eje de la mecha del timón a la vertical del centro de presiones de la pala



Sistema de Gobierno



- El proceso de diseño básico del sistema de gobierno puede seguir estas líneas:

1.- Elección del tipo de timón o timones a emplear con su perfil hidrodinámico.

Si no se dispone de mayor información, puede solventarse buscando información sobre buques análogos. Por otra parte existen perfiles hidrodinámicos NACA estándar, cuyo adecuado comportamiento es bien conocido.

2.- Determinación del área de la pala

El área de la pala puede estimarse a partir de fórmulas empíricas, como las ofrecidas por diferentes SSCC. Por ejemplo DNV recomienda:

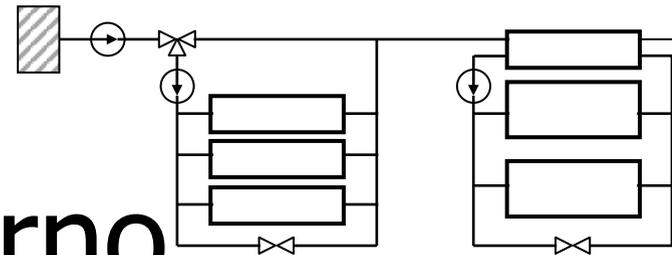
$$A_p = \frac{L \cdot T}{100} \left[1 + 25 \cdot \left(\frac{B}{L} \right)^2 \right]$$

Donde A_p es el área mínima proyectada del timón y L,B,T, eslora, manga y calado del buque, respectivamente.

3.- Estudio de la posición del timón y su acoplamiento al buque

El área calculada debe disponerse de manera adecuada al perfil del codaste del buque, teniendo en cuenta que es recomendable que el timón cubra el diámetro de la hélice, e incluso supere en un 10% a éste. Asimismo la relación de aspecto del buque y el área de compensación deben estar de acuerdo a los valores normales en el tipo de buques proyectados.

Sistema de Gobierno



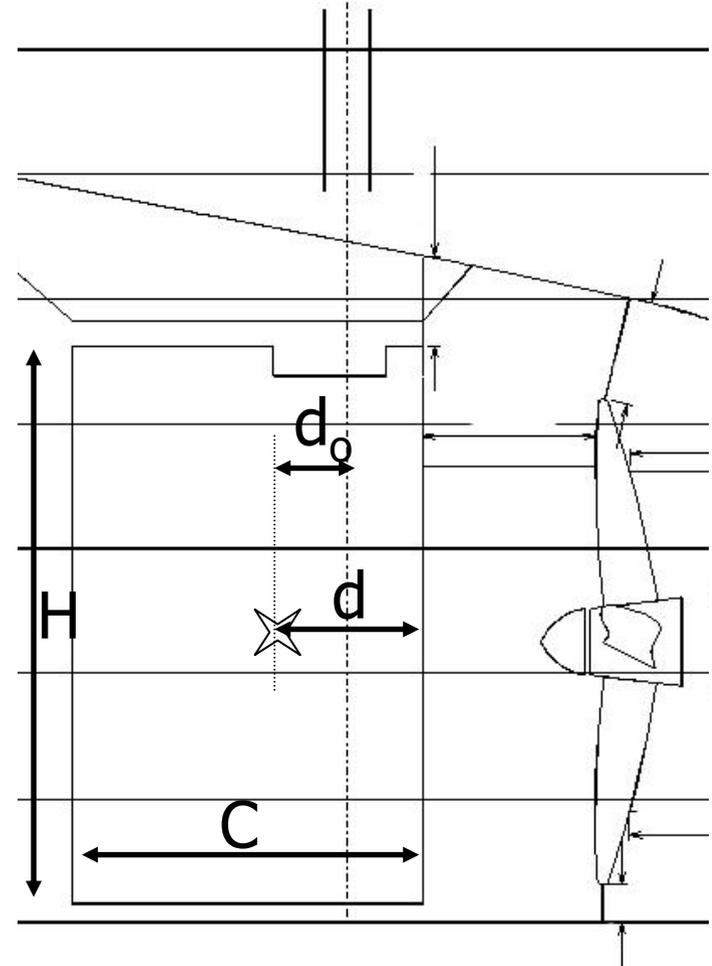
4.- Determinación del par torsor máximo y de la potencia del servomotor necesaria

El par torsor ($M_T = P_n \cdot d_o$) puede calcularse a partir de los valores de presión normal y centro de presiones de la pala. Estos valores pueden estimarse a partir de las características hidrodinámicas del perfil hidrodinámico o por las siguientes fórmulas experimentales (Jöessel) para timones rectangulares:

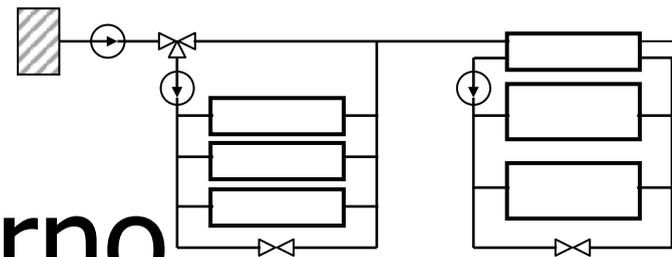
$$\frac{d}{C} = (0.2 + 0.3 \sin \alpha), \quad P_n = \frac{5.3 \cdot S \cdot V^2 \cdot \sin \alpha}{0.2 + 0.3 \sin \alpha}$$

Siendo C la cuerda del timón, S su superficie, V la velocidad del agua que incide en el timón (en primera aproximación se puede suponer que es la velocidad del buque), d la distancia entre el borde de ataque y el centro de presiones, y α el ángulo de medida del timón. P_n es la presión normal.

Si el timón no fuera rectangular, habría que descomponerlo en rectángulos elementales, a los que ya se pueden aplicar las fórmulas anteriores.



Sistema de Gobierno



4.- Determinación del par torsor máximo y de la potencia del servomotor necesaria

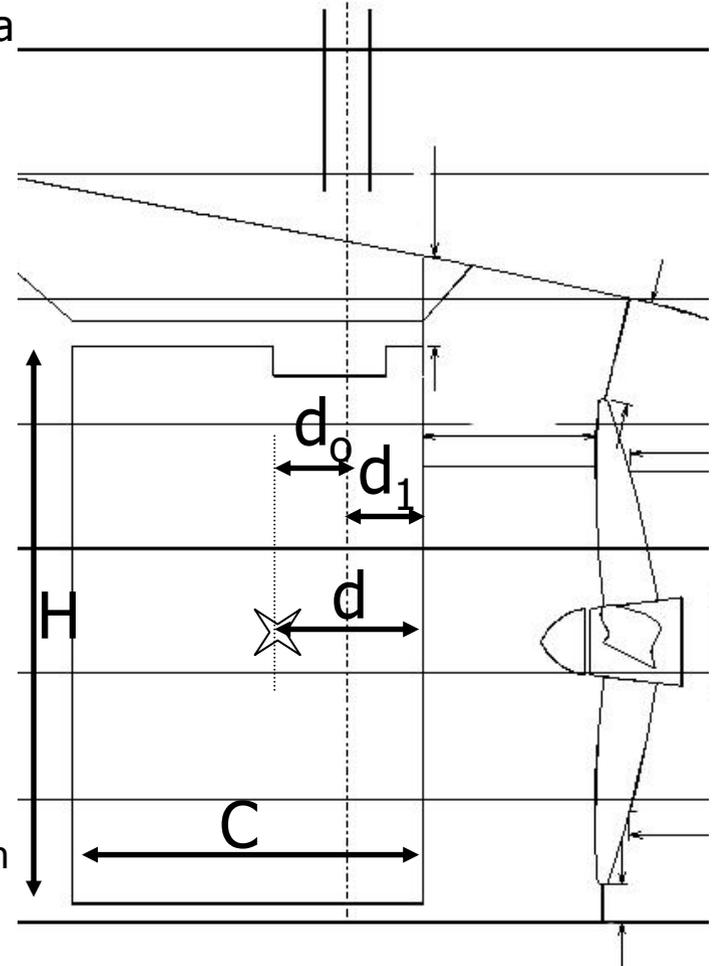
El par torsor máximo se calcula para valores de α en torno a 35° (que es el valor máximo de funcionamiento normal).

$$M_T = \frac{5.3 \cdot S \cdot V^2 \cdot \sin 35^\circ}{0.2 + 0.3 \sin 35^\circ} \cdot [(0.2 + 0.3 \sin 35^\circ) \cdot C - d_1]$$

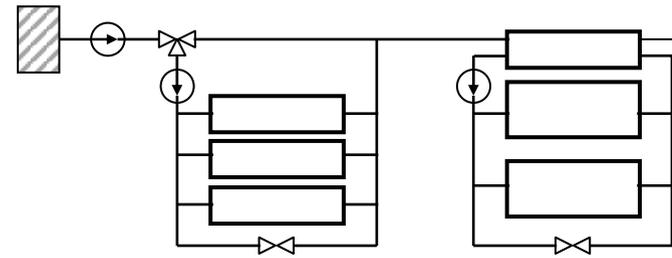
Las SSCC reglamentan el tiempo máximo (t_m) para girar el timón de una banda a otra (-35° a 35°), lo que nos permite calcular la potencia media necesaria para realizar esta acción, que puede ser utilizada para estimar la potencia del servomotor requerida.

$$P_m = \frac{1}{t_m} \int_0^{35^\circ} \frac{5.3 \cdot S \cdot V^2 \cdot \sin \alpha}{0.2 + 0.3 \sin \alpha} \cdot [(0.2 + 0.3 \sin \alpha) \cdot C - d_1] \cdot d\alpha$$

Es conveniente señalar la importancia que el área de compensación (definida por la distancia d_1) tiene sobre la potencia de servomotor necesaria. La relación del área de compensación y el área de la pala suele estar entre 0.2 y 0.3.



Bibliografía



- El proyecto básico del buque mercante
 - R. Alvariño, J.J. Azpíroz y M. Meizoso. FEIN. Madrid 1997.
- Construcción Naval I. Nomenclatura y Tecnología Navales.
 - F. Fernández González. ETSIN 1987.
- Equipo y Servicios.
 - E. Comas. ETSIN. 1985.