

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**

**FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA**



**TITULO: ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE  
PROPULSION DE UNA EMBARCACION PESQUERA  
CON SALA DE MAQUINAS EN PROA.**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE:  
INGENIERO NAVAL**

**HECTOR CUELLAR MARCA**

**PROMOCION 2007-II**

**2011**

DEDICATORIA:  
A mis padres por el apoyo incondicional en mi  
Formación profesional.

## **PROLOGO**

La presente tiene como fin mostrar los componentes esenciales de una línea de ejes del sistema de propulsión, y se da enfoque al problema del desalineamiento presente en dicha línea y su respectiva solución mediante un conjunto de procedimientos de alineamiento, en el cual se elegirá un método apropiado para la realización de los trabajos de alineamiento en embarcaciones pesqueras con motor principal en proa.

Se muestran además distintas pautas de trabajo e inspecciones reglamentarias que se realizan en astilleros cuando la embarcación sube a carena, y logrado a través de la práctica profesional en el Astillero SIMA Chimbote.

Como último punto, se darán recomendaciones de las principales reglas de Clasificación para la obtención de medidas mínimas en el alineamiento de ejes del sistema de propulsión en embarcaciones pesqueras.

## INDICE

### PROLOGO

### CAPITULO I: INTRODUCCION

Antecedentes.....	06
Objetivo Principal.....	07
Objetivo Especifico.....	07
Alcances.....	07

### CAPITULO II: GENERALIDADES DEL SISTEMA DE PROPULSION CON SALA DE MAQUINAS EN PROA

Constitución de una línea de ejes.....	10
Accesorios del sistema de ejes.....	13

### CAPITULO III: DESCRIPCION DEL PROBLEMA DEL DESALINEAMIENTO DE LA LINEA DE EJES

Desalineamiento de la línea de ejes.....	16
Verificar el desalineamiento del sistema de propulsión.....	20
Procedimiento de desmontaje del sistema de propulsión.....	22
Comprobación del alineamiento de ejes del sistema propulsión. ....	27
Montaje de ejes del sistema de propulsión.....	29
Proceso de alineamiento de ejes de sistema propulsor.....	32
Inspección reglamentaria en la carena del sistema de propulsión.....	34

### CAPITULO IV: FUNDAMENTO DEL SISTEMA DE ALINEAMIENTO POR RAYO LASER

Métodos convencionales de alineamiento.....	38
Método de Alineamiento por Rayo Laser.....	42

Equipo Rayo Laser AGL-SLB-110. ....	45
-------------------------------------	----

## CAPITULO V: ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSION

Generalidades de Procedimiento de Trabajo.....	49
Importancia del Alineamiento.....	51
Consideraciones de Alineamiento.....	54
Factores que Influyen en el Alineamiento.....	56
Objetivos de un Alineamiento Aceptable.....	61
Alineamiento del sistema de propulsión con sala de maquinas en proa.....	62
Características de aplicación del Solid Edge 3D.....	66
Resultados del Alineamiento.....	69

## CAPITULO VI: ESTRUCTURA DE COSTOS

Influencia Económica del alineamiento del sistema de Propulsion.....	72
CONCLUSIONES.....	76
RECOMENDACIONES.....	79
BIBLIOGRAFIA.....	80
APENDICE 1: Montaje y Alineamiento de Motores Marinos.....	81
APENDICE 2: Descripción del Equipo Rayo Láser.....	88
APENDICE 3: Reglas de Clasificación de GL.....	94
PLANOS	

## **CAPITULO I**

### **INTRODUCCION**

#### **1.1. ANTECEDENTES:**

La necesidad de querer profundizar tanto en el plano teórico como práctico, sobre un proceso que se debe realizar periódicamente dentro de un astillero, ya sea en construcción o reparación, según sea los requerimientos de uso. Este proceso tiene relación con el alineamiento de la línea de ejes del sistema de propulsión. Estas instalaciones por sus magnitudes y particularidades en cuanto a sus componentes que la integran, requieren de un tratamiento riguroso, tanto en sus etapas de fabricación, instalación y mantenimiento. Estas etapas estarán ceñidas a métodos y procedimiento de carácter técnico, las cuales serán expuestas y analizadas con el propósito de entregar una información Útil, para que en adelante se aplique dicho procedimiento en forma completa y con mayor exactitud.

Las componentes que integran la propulsión naval, lo cual puede denominarse en un principio como sistema y posteriormente, visualizar las variables que entran en detalle para a si llevar a cabo el desarrollo del proceso de alineamiento. Para solucionar el problema de alineamiento, se extraerá un método apropiado a ejecutar, sin embargo, como no existe una única alternativa para abordar el problema, la decisión y procedimiento final al respecto será de absoluta responsabilidad del encargado de dirigir las faenas de alineamiento.

## OBJETIVO GENERAL:

Desarrollar el proceso de alineamiento del sistema de propulsión de una embarcación pesquera, haciendo énfasis en los barcos con sala de maquinas en proa, describiendo los sistemas y normativas de alineamiento a ser utilizado en el Astillero SIMA.

### 1.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS:

Describir los componentes que forman parte de un sistema de ejes de la propulsión naval y Planificar un procedimiento de trabajo minucioso y completo, desde cuando los ejes salen en bruto de las bodegas hasta su puesta en la embarcación listo para su operación.

### 1.3. ALCANCES:

Solucionar los problemas de desalineamiento que se suscitan en los sistemas de ejes de propulsión en embarcaciones pesqueras durante su carena, nos lleva a emplear un equipo de rayo laser para la verificación de la línea de ejes, y proceder a su alineamiento durante la reparación de la embarcación en varadero.

## CAPITULO II

### 2.1.- GENERALIDADES DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN CON SALA DE MAQUINAS EN PROA.

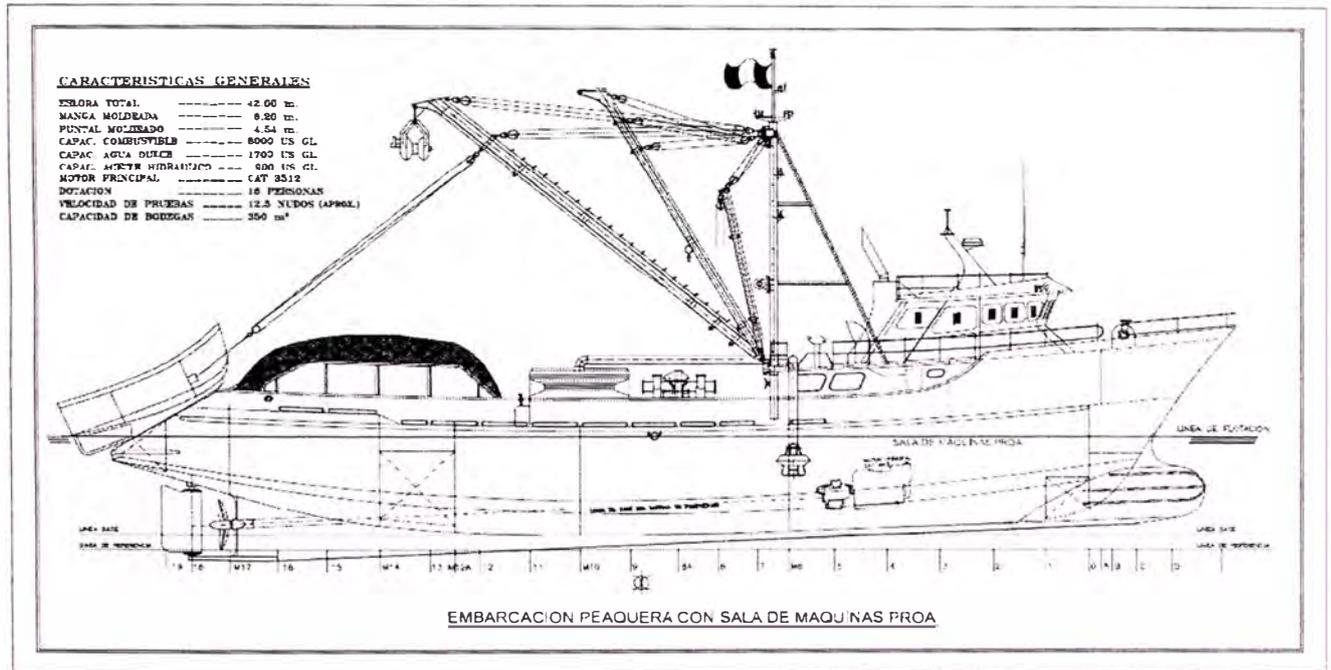
El sistema de ejes de propulsión es esencialmente el enlace entre la hélice y el motor principal, este debe ser operable en todas las condiciones de trabajo sin que falle, durante toda la operación de la embarcación en sus diversas condiciones de operación.

El sistema de propulsión tiene el equipamiento necesario para convertir el movimiento de rotación del motor diesel principal, en potencia de empuje, necesaria para lograr la propulsión de la embarcación, es decir el avance durante su navegación.

Este sistema debe cumplir con varios objetivos, los cuales son vitales para lograr una buena operación del barco, estos objetivos son:

- Transmitir la potencia desde el motor principal a la hélice.
- Soportar a la inercia estática y rotativa de la hélice.
- Estar libre de formar vibraciones perjudiciales.
- Transmitir el empuje desarrollado por la hélice al casco.
- Soportar con seguridad la carga de operaciones transitorias (cambios de marcha, maniobras a alta velocidad).
- Proporcionar operaciones seguras a través de todo el rango de operaciones.

La principal diferencia en la disposición del sistema de ejes entre los distintos barcos, radica en la ubicación de la maquinaria principal, es decir el motor diesel principal se encuentre en el compartimento de proa, tal como muestra la imagen.

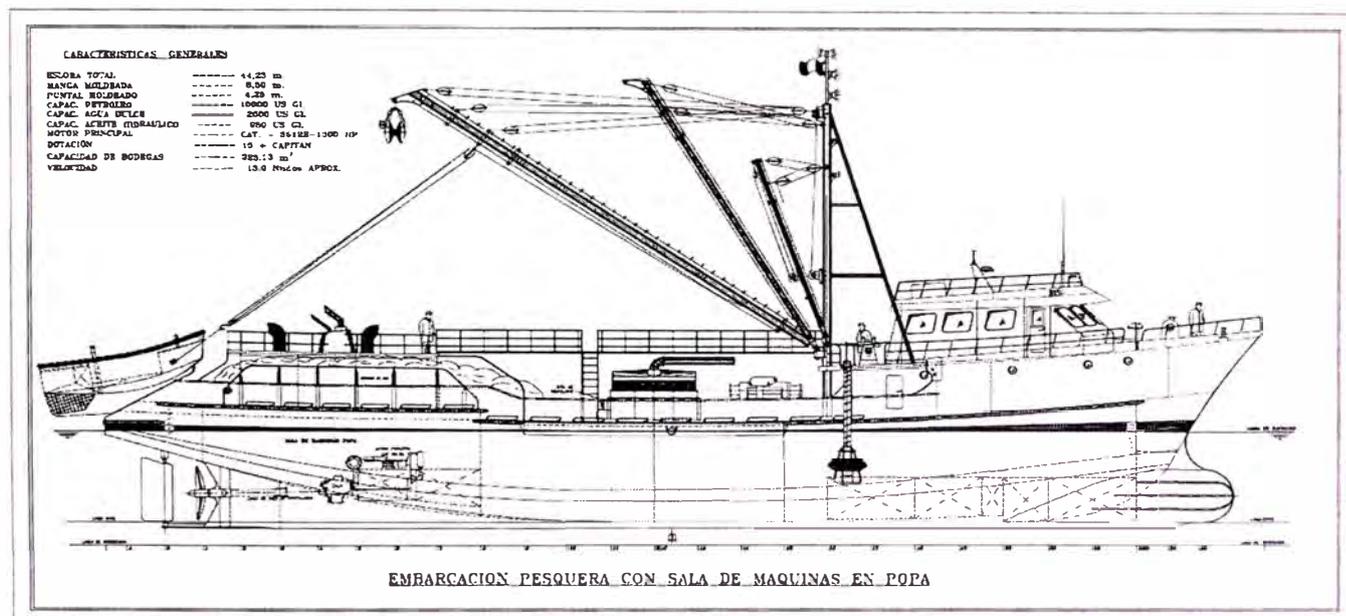


Embarcacion con motor ppal en proa

En el caso que la sala de máquinas esté bien a popa, se observará una línea de ejes con pocos descansos en el interior del barco y por ende, menos ejes intermedios. Tal como muestra la imagen siguiente. En caso se cuente con eje de cola de considerable longitud, esta contara con un descanso.

Por otro lado, ubicarse la máquina principal en la sección media del buque, requiriéndose para ello una gran longitud del juego de ejes dentro del barco, con su

respectivo aumento en el número de descansos. Este caso se considera para buques de alto bordo tales como tanqueros, petroleros, etc.



Embarcacion con motor ppal en popa.

### 2.1.1- CONSTITUCIÓN DE UNA LÍNEA DE EJES

El sistema de ejes que estará ubicado en el interior del barco es llamado línea de ejes. Y está constituido por una o varios ejes, y están identificadas de la siguiente manera:

- Eje motor o eje de Empuje.
- Eje intermedio, formado por uno o varios tramos.
- Eje de cola o eje porta hélice.

#### EJE MOTOR:

Eje motor o eje de empuje se denomina al tramo de eje macizo que va directamente conectado al motor por intermedio de un acoplamiento del tipo rígido y en su parte posterior va conectado normalmente a los o el eje intermedio.

### EJE INTERMEDIO:

El eje intermedio o eje de transmisión está compuesto, generalmente, de varios tramos de eje macizo de acero forjado unidos entre sí y apoyados en los descansos o cojinetes de apoyo.

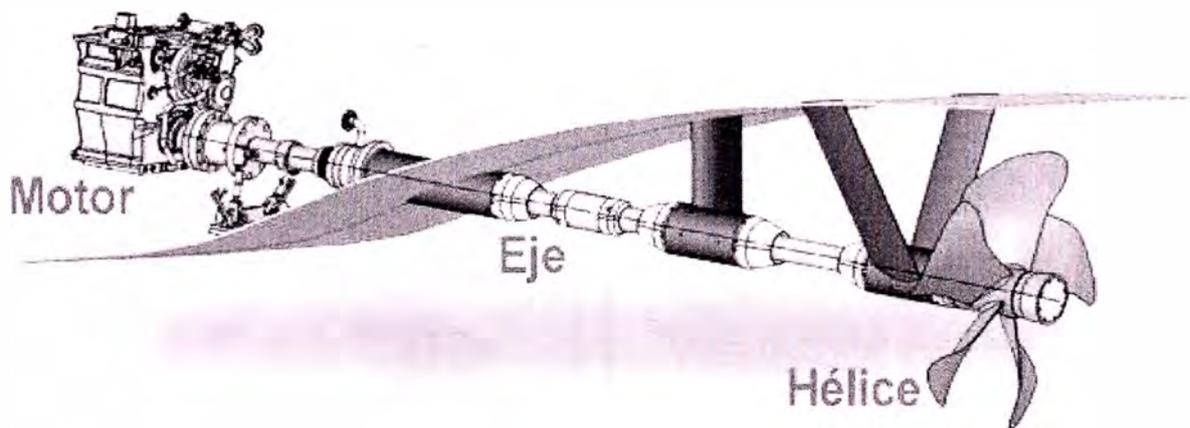
La unión entre los distintos ejes intermedios varía, pero puede decirse que lo general es que cada uno tenga en sus extremos un platillo de acoplamiento forjado en una pieza con el eje, que se unen entre sí mediante pernos ajustados perfectamente a los taladros de los platos, con una chaveta puesta transversalmente al eje y elaborada en el mismo material de ambos, la cual impide que los pernos de ajuste estén sometidos a fuerzas de cizalle.

### EJE DE COLA:

Este es el último tramo de la línea de ejes sobre el cual se monta la hélice. El tipo más corriente de eje de cola es de construcción maciza de acero forjado. Sin embargo, se suelen usar ejes de cola huecos, con lo cual se consigue un aligeramiento de peso.

El eje de cola, termina por su extremos de popa, en una parte cónica dispuesta para recibir la hélice que se fija al mismo por una tuerca de bronce atornillada formando junta estanca contra la cara posterior del núcleo de la misma y el arrastre de la hélice se asegura por una o dos chavetas longitudinales entalladas mitad por mitad en el eje y en el núcleo de la hélice.

En las zonas en que se apoya sobre los arbotantes y chumaceras, el eje va provisto de una camisa de bronce para evitar el desgaste rápido que se produce casi siempre sobre las piezas de acero que rozan el agua. Estas camisas se colocan en sus lugares ensamblados en caliente. Debido a la diferencia de materiales de la camisa y el resto del eje puesto en contacto con el agua de mar, se producen efectos galvánicos que provocan corrosiones y picaduras en el eje. Para evitar esto, es preciso lograr que el agua de mar deje de estar en contacto con el acero del eje, lo que se logra con la preparación y postura de sellos que veremos posteriormente. El eje de cola en su extremo de proa tiene generalmente acoplamiento de plato o Cople.

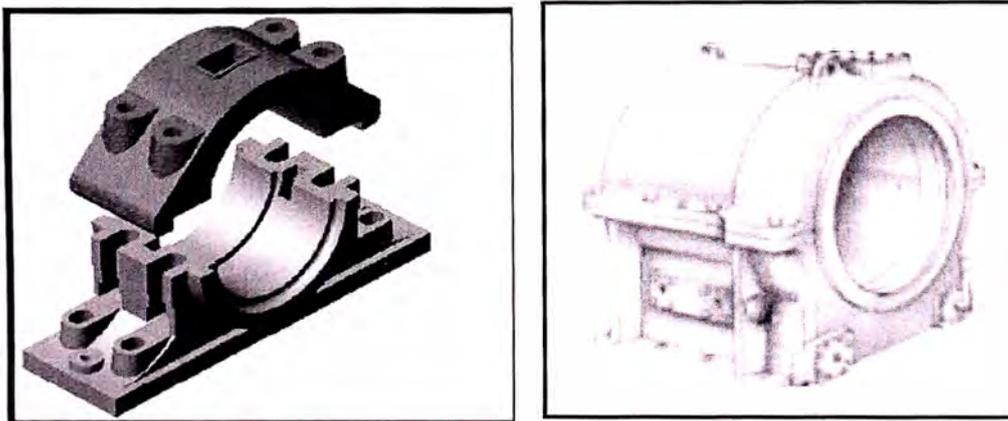


Fotografía de componentes de la Línea de ejes del sistema de propulsión

### 2.1.2 ACCESORIOS DE LÍNEA DE EJES

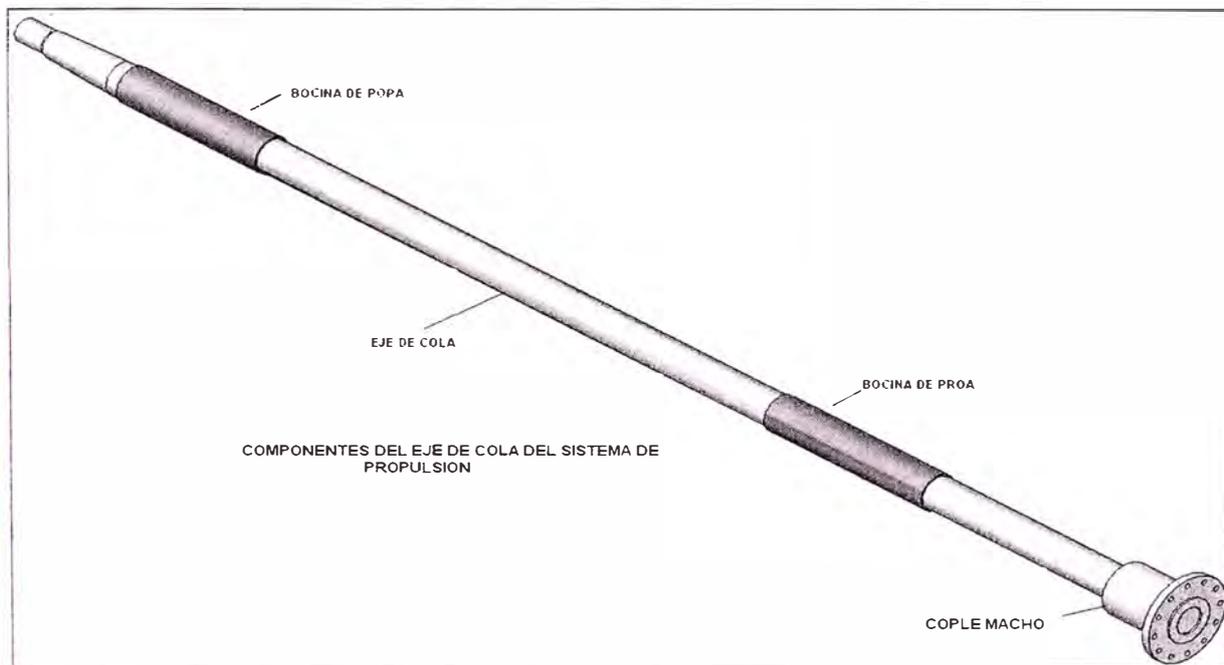
Los tramos de ejes intermedios y el eje de cola necesitan una serie de Soportes para su apoyo, estos soportes para el eje intermedio están constituidos por los descansos o chumaceras con sus cojinetes de apoyo o de alivio.

Estos descansos en su interior llevan cojinetes, generalmente de metal blanco antifricción de bajo valor comercial. La función de estos cojinetes es absorber el desgaste que se producirá debido al roce cuando entre en movimiento el eje. En términos económicos, es más barato cambiar un par de cojinetes desgastados que cambiar una camisa de bronce del eje o el mismo eje. Estos cojinetes además deben estar preparados para liberar la capa de aceite o grasa según sistema de lubricación que tenga el buque.



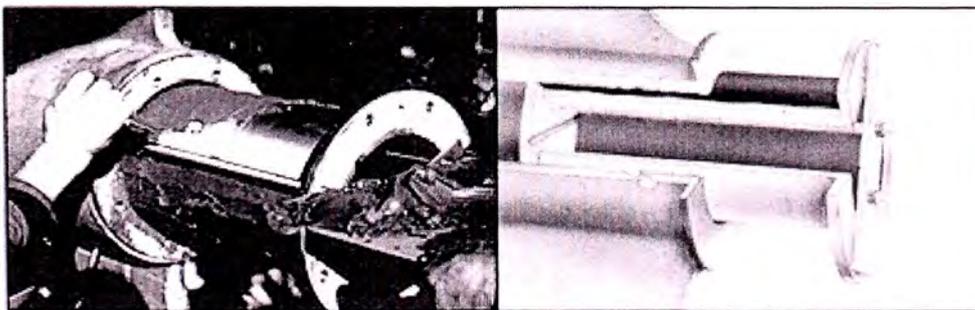
Se presenta a continuación fotografía esquemática de un cojinete común lubricado por grasa y aceite.

Con la misma función de proteger el eje contra el desgaste por fricción, se montan sobre él, camisas de bronce en las partes donde estará sostenido por los descansos y en el tubo codaste.



Fotografía que muestra las camisas de bronce en el eje propulsor.

El eje de cola ha de pasar a través del casco del buque en la zona de la obra viva, paso que necesariamente debe quedar en forma estanca al agua de mar (Tubo Codaste), esta estanqueidad se consigue por medio de la bocina, que cumple una doble misión; servir de soporte al eje y asegurar la citada estanqueidad. Esta bocina puede ser de material Thordon, Guayacán o Neoprene.



Fotografía de montaje de una bocina de material de Thordon.

Es evidente que éste eje de cola debe llevar un apoyo próximo a su extremidad de popa donde va acoplada la hélice, ya que el peso de esta sometería al eje a una excesiva flexión en caso de no llevarlo; en los buques de una hélice este fin lo cumple la misma bocina que al terminar por la cara de popa del codaste queda prácticamente junto a la hélice.

Los accesorios que también se monta sobre la línea de ejes citados, tales como; disco freno, torsiometro y descanso de empuje. Existen otra serie de elementos, que pueden o no ir colocados en la línea de ejes, dependiendo del tipo de maquinaria propulsora que la acciona, tales como: engranajes de reducción, embragues, acoplamientos elásticos e inversores de marcha.

### **CAPITULO III**

#### DESCRIPCION DEL PROBLEMA DEL DESALINEAMIENTO DE LA LINEA DE EJES DE UNA EMBARCACION PESQUERA CON SALA DE MAQUINAS EN PROA

##### 3.1 DESALINEAMIENTO DE LA LINEA DE EJES

Al abordar el problema es necesario definirlo y con esto establecer las restricciones que se asumirán para enfocar la situación bajo un prisma práctico y no recaer en análisis demasiado específico y puntuales que cobrarían especiales y profundos estudios, los cuales, demandan mayores tiempos de análisis y en cierta forma desviarán en otras soluciones apartándose de los objetivos básicos establecidos, por lo tanto, dentro de un universo de posibles soluciones al problema, este apuntará a resolver la problemática geométrica que presenta el acoplamiento de un juego de ejes, bajo un punto de vista estático.

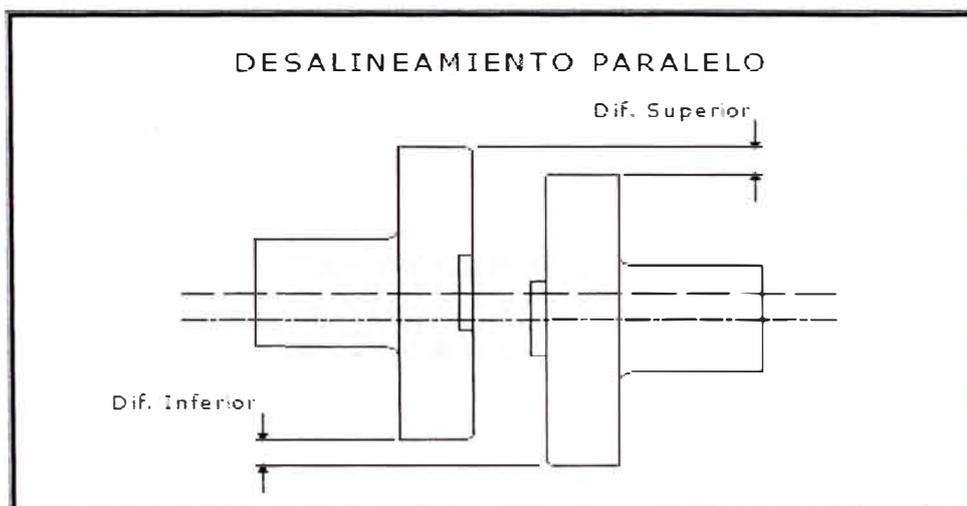
Se entiende por alineamiento de una línea de ejes, el posicionar a estos de modo que tengan el mismo eje geométrico, es decir lograr su coaxialidad.

Obviamente, el hecho de que dos juegos de ejes estén desalineados, implica la pérdida de coaxialidad citada y esto se puede manifestar de dos formas, aun cuando el caso general es una combinación de ambos.

Las formas del desalineamiento presentes en los sistemas de propulsión son las siguientes:

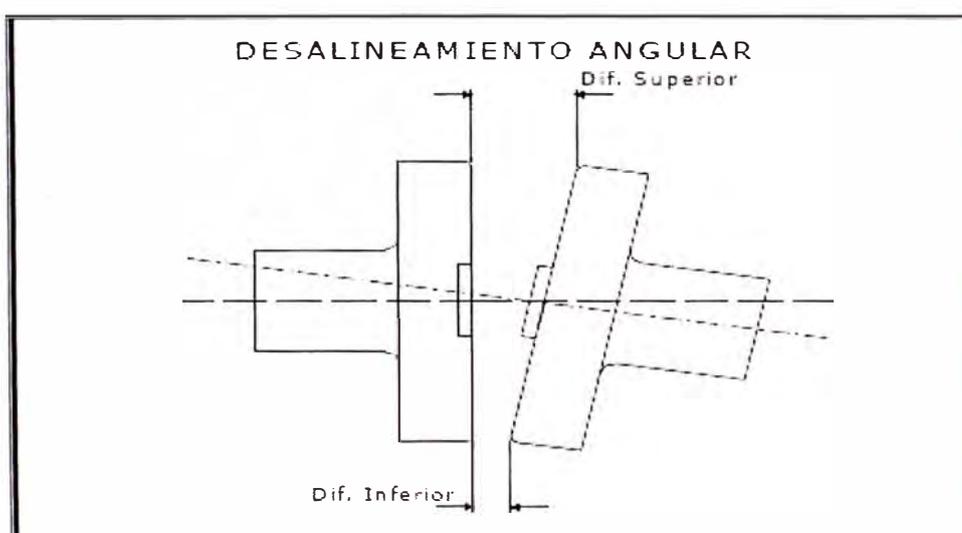
### 3.1.1. DESALINEAMIENTO PARALELO O DIAMETRAL:

Le corresponde a los casos en donde los ejes cuyas caras están paralelas, pero sus centros teóricos de rotación (líneas centrales) no se interceptan.



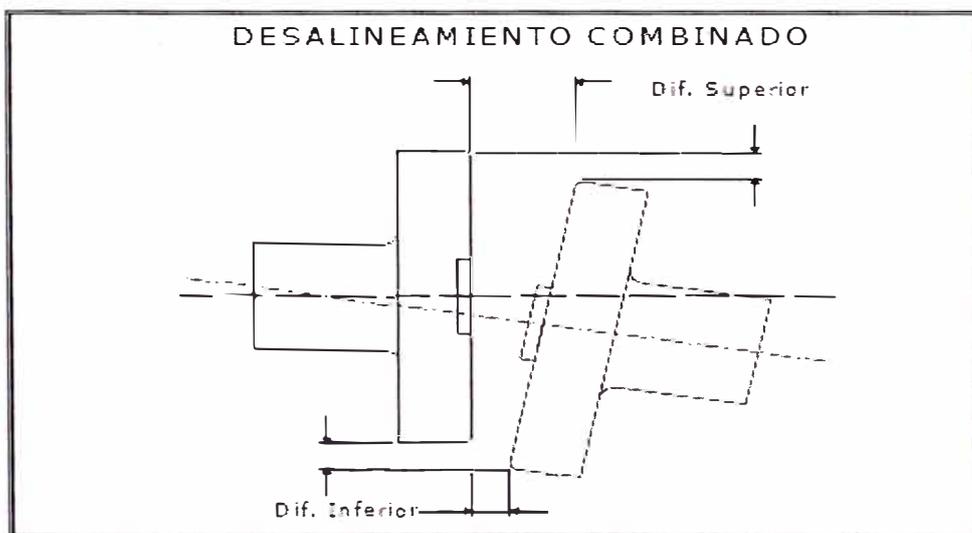
### 3.1.2. DESALINEAMIENTO ANGULAR O AXIAL:

Le corresponde a los casos en donde los ejes cuyas caras presentan un ángulo, pero sus centros teóricos de rotación se interceptan.



### 3.1.3. DESALINEAMIENTO COMBINADO:

En este tipo de desalineamiento de una combinación de los anteriores, es decir, sus caras presentan un ángulo entre si y además presentan una diferencia de altura. Según la presentación.



### 3.1.4. CONSECUENCIAS DEL DESALINEAMIENTO

Las consecuencias del desalineamiento que se manifiestan en el sistema de ejes son las siguientes fallas:

- Trabazones, Atascamientos y desgastes abrasivos en los acoplamientos flexibles de la unión de ejes.
- Desgastes abrasivos en los acoplamientos rígidos.
- Sobrecargas en los cojinetes, (radiales como de impulso)
- Gran fricción y desgaste en los sellos.

- Desgaste de los ejes que a veces pueden ocasionar grietas y roturas.
- Desgaste en los descansos de los ejes.
- Generación de calor por los roces eventuales.
- Vibraciones no consideradas tanto en el diseño de los soportes como de las Máquinas acopladas.
- Mayor consumo de combustible del motor diesel principal.

Estas consecuencias podrían ser atenuadas si él o los responsables del alineamiento, se les exigiera la máxima seriedad en las etapas del alineamiento antes enunciadas. Lo substancial es que se tenga un conocimiento cabal del uso de los instrumentos y equipos necesarios, así como también, la correcta interpretación de las mediciones efectuadas y la adecuada estimación de los movimientos de ejes y carcasas de la maquinaria en cuestión, acaecidos en sus condiciones dinámicas; relativas a sus condiciones estáticas.

### 3.2 VERIFICAR EL DESALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN.

Cuando la embarcación sube a carena para un mantenimiento programado por el Armador, muchos de los trabajos principales están enfocados a la reparación de la estructura del casco, así como también la de los sistemas de gobierno y de propulsión. Así como también las líneas de tuberías principales del barco. Por lo que el astillero toma las medidas correctivas en cuanto al sistema de gobierno y propulsión, de acuerdo a los parámetros mínimos de calibración que pueda contar en especial un sistema de propulsión.

#### 3.2.1 DESMONTAJE DE LA LÍNEA DE EJES:

Para poder efectuar el desmontaje de la línea de ejes de una embarcación, es imprescindible desmontar todo el sistema de propulsión y debemos comenzar por la hélice, como se muestra a continuación. Antes de desmontar un sistema de propulsión debe efectuarse la calibración del sistema, para determinar si se encuentra fuera de las holguras admisibles. Si se encuentra dentro de lo admisible, no será necesario desmontar el sistema, salvo que el armador o su representante lo autoricen.

Se tomara la decisión de desmontarlo de acuerdo a la Planilla de calibración del sistema de propulsión de la embarcación, luego que la embarcación ha subido a varadero y se allá tomado todo los parámetros medibles que solicite el estándar de alineamiento.

### 3.2.2 DESMONTAJE DE HÉLICE DE PASO FIJO

Para realizar el desmontaje de la hélice, es necesario tener la aceptación, del departamento de seguridad industrial, que la embarcación se encuentre desgasificado, es decir, en condiciones de poder ejecutar trabajos en caliente. Una vez que se ha definido la actividad de desmontaje, se verificará lo siguiente:

- Estado de bocinas, prensaestopas y descansos.
- Calibrar la holgura entre la manga de la prensaestopa y la bocamaza de proa del tubo de codaste, por parte del Taller Maquinado X-37.
- Inspeccionar el tubo de codaste (corrosión).
- Inspeccionar la estructura del buque aledaña al tubo de codaste, malletes y base del motor propulsor.
- Inspeccionar los pernos de anclajes de los descansos, prensaestopa cople de los ejes, asimismo, sus agujeros de alojamiento; se deben recuperar los que se encuentra en buenas condiciones.
- Para realizar esta labor es necesario contar con un mínimo de personal calificado; Mecánico encargado, Mecánico ayudante y Soldador oxiginista.
- En la selección de herramientas se debe considerar el modelo del buque en el cual se va a trabajar; Llave de acuerdo a la medida de la tuerca a sacar, Cincel, Maceta, Machina extractor de hélice, Llave para accionar perno del extractor, Soplete calentador y Soplete cortador.

Recomendaciones para el desmontaje de la línea de ejes del sistema de propulsión:

- En primera instancia para el desmontaje de los ejes de propulsión usar llaves, en caso contrario se cortarán con oxicorte.
- Al desmontar la funda guardacabo, el Taller Montaje debe inspeccionar y registrar la distancia existente entre el borde de la bocamaza del tubo de codaste y el borde del núcleo de la hélice. Esta distancia podrá variar de 2.1/2” a 3.1/2” Si la funda se encuentra sumamente deteriorada, el Jefe de Proyecto debe comunicar a la División de Diseño para que tome las dimensiones para que el Taller Calderería confeccione una nueva. En el caso que se encuentre en buenas condiciones debe de guardarse en el Taller montaje y/o calderería, para ser instalada luego del montaje de la hélice.
- Antes de llevar al taller los ejes, descansos, y prensaestopas, deben ser arenados (de acuerdo a su estado) para facilitar la inspección y el mecanizado.
- Tener cuidado durante las maniobras de extracción de los ejes por el túnel del buque, de igual manera durante el transporte, mediante grúa, al Taller de Maquinado. Se evitara golpear los ejes, para evitar deformaciones adicionales, dificultando la reparación de los mismos, ya que aumentan las horas hombres de reparación y con esto se encarece el costo de reparación.

### 3.3 PROCEDIMIENTO DE DESMONTAJE DEL SISTEMA DE PROPULSION

- Cortar guardacabos de Hélice.
- Retirar cemento de las tuercas del espárrago.
- Sacar tuerca y espárrago de la tapa gorro.

- Desmontaje de la tapa de gorro, si no se puede sacar completamente, hay que cortarla con el cincel y la maceta.
- Retirar el cemento de las tuercas de la hélice.
- Sacar la contra tuerca de la hélice, con la llave de golpe adecuada, y una maceta.
- Sacar la tuerca de la hélice, realizar el mismo procedimiento que la contratuerca.
- Instalar machina para desmontar hélice.
- Instalar teclee, en el cáncamo soldado a la gambota del casco.
- Amarrar pala superior con cabo y este tensarlo con el teclee.
- Girar perno de la machina para ver si suelta la hélice.
- Si, no suelta la hélice hay que proceder a calentar y girar el perno hasta que suelte, al soltar la hélice hay que tensar el tecle, para impedir un desplazamiento brusco.

Hay tres casos para retirar la hélice del lugar de trabajo.

I. Girando la pala timón: Es decir al girar la pala hacia una banda, queda un espacio suficiente entre el eje y la pala timón, para que pase la hélice. Por lo tanto al estar suelta la hélice hay que correrla hasta el espacio entre eje y pala, arrear lentamente el tecle hasta que la hélice llegue al suelo. Para esta maniobra no hay que mover el eje de cola.

II. Desmontando la pala timón. Al desmontar la pala timón de acuerdo al procedimiento de desmontaje de pala timón, se puede correr la hélice al termino del eje de cola y arrear el teclee lentamente hasta el suelo o tomar la hélice con la grúa horquilla y proceder a retirarla a un sitio seguro. Para realizar esta maniobra no hay que desplazar ejes.

III. Desmontando eje Intermedio. Este es el procedimiento mas utilizado, ya que se realiza generalmente cuando la revisión reglamentaria no se cumple y es necesario desmontar propulsión. Sacar de su posición, de acuerdo al procedimiento de desmontaje del eje intermedio, correr el eje de cola hacia proa hasta que la hélice tenga espacio para ser retirada, ya sea arreando el teclee hasta dejar la hélice en el suelo o retirarla con el Yale y colocarla en un sitio seguro.

### 3.3.1 DESMONTAJE DE EJES DE PROPULSIÓN

Para proceder a la realización del desmontaje del sistema de ejes es necesario contar con un mínimo de personal calificado (Mecánico encargado, Mecánico ayudante y Soldador oxiginista). Y la selección de herramientas se debe considerar el modelo del barco en el cual se va a trabajar. Es decir al dimensionamiento de las componentes del sistema de propulsión, ejes de cola e intermedio, hélices y demás accesorias.

Luego de haber sido aprobada la reparación y se ha retirada la hélice debemos continuar con las componentes del sistema de propulsión:

#### EJE DE COLA

01. Soltar y aflojar pernos gland prensaestopa del tubo codaste.
02. Sacar empaquetadura del tubo codaste.
03. Medir con filler la caída del eje con respecto a la prensa estopa y neoprene.
04. Desacoplar el sistema de engrase.

05. Soltar y sacar pernos del cople de eje de cola y eje intermedio.
06. Soltar y sacar pernos se seguro del cople.
07. Desmontar el cople de eje de cola.
08. Desmontar prensaestopa del tubo codaste.
09. Cortar y sacar pala del timón.
10. Desmontar eje de cola del tubo codaste.
11. Sacar eje de cola por bodega.

#### EJE INTERMEDIO

01. Desmontar tapas del túnel o abrir tapas del túnel.
02. Medir con filler caída de los descansos con respecto al eje.
03. Desacoplar circuito de engrase de los descansos.
04. Soltar pernos y desmontar las tapas de los descansos.
05. Soltar y sacar pernos de acoplamiento del cople de proa y popa del eje.
06. Desunir eje intermedio largo de eje intermedio corto y del eje de cola.
07. Preparar y montar herramientas para desmontar eje intermedio.
08. Desmontar el eje intermedio por escotilla de bodega.

Como norma general para toda la línea de ejes del sistema debemos seguir los siguientes consejos:

1. Los pernos que no serán reutilizados se podrán cortar con oxi-gas, tomando las precauciones a posibles incendios.
2. Cortar viga central de bodega que impida maniobrar al sacar ejes.

### 3.4 COMPROBAR ALINEAMIENTO DE EJES DEL SISTEMA PROPULSION.

El procedimiento de trabajo que involucra todas las tareas para la confección de un eje propulsor, en el caso de un buque en construcción y que a la vez es parte de un procedimiento de trabajo que involucra a la reparación de la línea de ejes cuando la embarcación sube a carena.

- **EJE DE COLA E INTERMEDIO EN EL TORNO**

1. Preparar Torno en Taller.
2. Montar el Eje de Cola en el Torno.
3. Colocar lunetas.
4. Desmontar fibra de vidrio en lunetas. (Sólo en zona de lunetas)
5. Comprobar Torsión con comparador de esfera.
6. Enderezar o Alinear el Eje.
7. Verificar Trabajo con comparador de esfera.
8. Desmontar eje del torno.

- **RECTIFICAR Y PULIR CAMISAS DE BRONCE DE PROA Y POPA**

1. Preparar Torno en maestranza.
2. Montar el Eje de Cola en el torno.
3. Colocar las lunetas en el Eje.
4. Tomar medidas de los diámetros de las camisas.
5. Rectificar y pulir camisa de bronce de proa al mínimo.

6. Rectificar y pulir camisa de bronce de popa al mínimo.
7. Verificar las medidas de los diámetros de las camisas.
8. Desmontar eje del torno.

- **REFRENTAR BRIDA DE EJE DE COLA**

1. Llevar Eje de cola y coples a maestranza.
2. Montar coples en eje de cola.
3. Colocar y apretar los pernos del seguro del cople.
4. Preparar el torno.
5. Montar el eje en el torno.
6. Tomar las mediciones necesarias del cople.
7. Refrentar el cople.
8. Verificar las medidas en el cople.
9. Desmontar eje de cola del torno.
10. Soltar y sacar pernos de seguro del cople.
11. Desmontar coples del eje de cola.

Para esta operación es necesario el trabajo de un tornero con experiencia y el uso de un yale (con su chofer) para el traslado y movimiento del eje. Además es necesario añadir que el sector de trabajo debe estar despejado y el personal de trabajo debe contar con ropa e implementos de seguridad. (Los que especifican las normas de seguridad para el trabajo dentro de un astillero).

**NOTA:**

En la reparación del sistema de ejes se encuentra como resultado de la calibración de los elementos del sistema de propulsión, y es así que de acuerdo a las tolerancias de desgaste que se dan en los elementos y a su vez esta genera un costo adicional por el suministro del material y la mano de obra, hace que se incremente el costo de mantenimiento del sistema y asegurando a su vez la confiabilidad de operación del barco. Dándose las siguientes actividades adicionales:

- Cambio de camisa del eje de cola
- Verificación de alineamiento del eje intermedio en el torno.
- Refrentado de coples del eje intermedio
- Metalado de descansos

### 3.5 MONTAJE DE EJES DEL SISTEMA DE PROPULSION

Concluido el trabajo de mecanizado de ejes de la propulsión; realizado el taller de maestranza, se procede a realizar el montaje de descansos y prensa estopa en taller. El trabajo de taller implica la revisión de tolerancias y ajustes de cada una de las partes móviles del sistema, la reposición de fibras o pinturas. El traslado de ejes se debe realizar con una faja destinada para la maniobra de tal manera que impida que los ejes sufran golpes en su traslado, esta maniobra debe hacerse con toda la precaución y responsabilidad, para así tener la certeza de realizar la labor de alineamiento en las

mejores condiciones. Estando el traslado de ejes realizado hasta dejar al alcance de la grúa, se procede a realizar el montaje de ejes.

- MONTAJE DE EJE DE COLA

1. Revisión y limpieza de tubo de codaste y sus entradas de enfriamiento.
3. Teclees y herramientas de maniobra en buen estado.
4. Cáncamo de soporte de teclee en buen estado.
5. Personal idóneo a la maniobra de introducir ejes y para dirigir la grúa.
6. Prevenir de las personas ajenas a la maniobra expuesta a posibles accidentes.
7. Montar eje de cola por popa o por bodega, según modelo del barco.
8. Montar prensa estopa y apretar tuercas.
9. Montar el cople de eje de cola.
10. Proteger cono con sello. (Talco industrial y contratuerca)
11. Montaje de hélice en el eje con tuerca y contratuerca.
12. Apretar pernos de brida del núcleo de la hélice.
13. Insertar espárrago en cono del eje de cola.
14. Montar tapa gorro, apretar tuerca y poner cemento en tapa de gorro.
15. Acoplar el eje de cola al eje intermedio.
16. Colocar y apretar pernos de cople del eje de cola.
17. Colocar empaquetadura y poner grasa en el gland de la prensa estopa.
18. Montar y apretar tuercas del gland.

- MONTAJE DE EJE DE PROA

El montaje del eje de proa debe cumplir con todas las recomendaciones dadas en los ítems: 3, 4, 5, 6, del montaje eje de cola. Estando el eje de proa en posición de trabajo, se procede al armado del mamparo, o recuperación de la viga previamente cortada por desmontaje.

- MONTAJE DE EJES INTERMEDIOS

1. Montar descansos. (Solo presentarlos para ejes)
2. Montar eje intermedio en la base de los descansos.
3. Alinear ejes con los ejes ya instalados. (De proa y de cola)
4. Colocar pernos en coples de acoplamiento de proa y de popa.
5. Alinear eje intermedio y apretar pernos de acoplamiento.
6. Montar tapas de los descansos.
7. Colocar y apretar pernos de la tapa de los descansos.
8. Acoplar circuito de engrase de los descansos.
9. Instalar tapas del túnel o cerrar tapas del túnel.

- MONTAJE DE HÉLICE

1. Montar hélice en cono de eje de cola.
2. Montar extractor en hélice.
3. Con el extractor debemos dejar hélice en posición final.
4. Colocar tuerca de la hélice y apretar.

5. Apretar pernos de la brida del sello de la hélice.
6. Apretar espárrago y montar tapa gorro.
7. Apretar tuerca del espárrago de tapa gorro.
8. Unir eje de cola con el eje intermedio.
9. Colocar y apretar pernos de acoplamiento de los coples.
10. Preparar y colocar cemento con aditivo en la tapa gorro de la hélice.

### 3.6 PROCESO DE ALINEAMIENTO DE EJES DE SISTEMA PROPULSOR

Este punto merece especial atención ya que es la base de estudio de nuestro trabajo, para ello debemos seguir el siguiente procedimiento:

1. Una vez terminados el resto de los trabajos de calderería, procedemos a limpiar el lugar de trabajo, generalmente se trata del túnel de ejes.
2. Se montan los descansos del eje según datos proporcionados por estudio racional. Casas clasificadoras dan distintas fórmulas para la elección del correcto número de descansos.
3. Una vez montados los descansos, procedemos a su alineación (o ubicación de su centro teórico) mediante el alineamiento de la línea de ejes.
4. Se Empernan los descansos con seguridad en los mallestes del túnel.
5. Procedemos a introducir los ejes de propulsión en el barco.
6. Comenzamos a unir los descansos por sus caras de acoplamiento y con el feeler vamos dando las cuñas correspondientes que fueron obtenidas por el análisis de carga.

7. La alineación se comienza de popa a proa, cosa que cualquier defecto de dimensiones pueda ser reparado mediante el movimiento del motor propulsor.

8. Se aseguran definitivamente los descansos y se cierran las tapas del túnel.

9. El paso que se describe a continuación se realiza cuando el buque baja de carena y en un viaje de pruebas. Este viaje de pruebas es de una duración aproximada de tres horas y a velocidad full avante. Procedemos a tomar temperatura en los descansos con el eje en movimiento, las lecturas se realizan en cuatro puntos a 90 grados cada uno, las lecturas obtenidas oscilan 40° a 55° grados y deben mantenerse todas con un margen de error de 3 grados, si alguna lectura sale de los parámetros dados debemos considerar un re-estudio. Generalmente las lecturas de babor y estribor se mantienen parejas, es decir no presentan diferencias considerables. No así las lecturas del lado superior e inferior, Es por ello que si el descanso se calienta arriba, debemos subir el descanso; y se calienta abajo, debemos bajar el descanso, esto lo logramos aumentando o disminuyendo la cantidad de laines en la base de los descansos, según sea el caso. Las diferencias de calor se producen debido al grado de roce que consigue el eje con el descanso al cual se le toma la temperatura.

10. Se repite el proceso las veces que sea necesario para mantener una temperatura constante.

11. Procedemos a emitir informe y damos por terminado el proceso de alineamiento.

Durante la reparación de los ejes del sistema de propulsión, realizada la inspección se procedió a su desmontaje, teniendo como referencia las tolerancias de maquinado en las medidas de cada elemento de los ejes, las que se exceden de los márgenes permisibles,

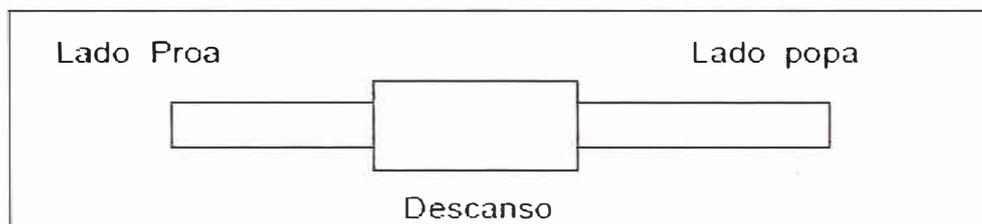
lo que origina el descarte de éstas, dando así actividades adicionales previo al alineamiento.

### 3.7 INSPECCIÓN REGLAMENTARIA EN LA CARENA DEL SISTEMA DE PROPULSIÓN

El Astillero tiene la responsabilidad de velar por la seguridad de la embarcación, por eso es necesario realizar inspecciones que permitan garantizar la seguridad de la nave. Para comenzar a realizar las inspecciones es necesario tener la aprobación del departamento de seguridad de poder realizar trabajos en el interior del buque.

Las mediciones del sistema de propulsión permiten la evaluación del estado de ésta. Se realizan mediciones, el juego existente entre metal y eje, con una herramienta llamada filler. A este procedimiento se le conoce como caída de los descansos.

Las caídas de los descansos se deben tomar tanto al lado de popa como al lado de proa y numerándose estos descansos de popa a proa.



Al lado de proa y al lado de popa se deben tomar las cuatro mediciones. Superior, Inferior, Estribor, Babor. Las cuales deben quedar registradas para su análisis y posteriormente ser comunicadas al armador.

Toma de caída de la prensa estopa, es necesario el desmontaje del gland y la empaquetadura, para medir la holgura existente entre metal y camisa, la cual se debe registrar, Superior, Inferior, Estribor, Babor.

Toma caída en bocina mixta o descanso de popa. Algunas veces es necesario desmontar el guardacabo, para tomar el juego existente entre bocina mixta y camisa. Además es importante la observación del estado de este.

Revisión visual de la hélice. Se debe tener la certeza que las aspas y el núcleo se encuentran en buenas condiciones, sin grietas, falta de material por daños o cavitación.

Teniendo la información completa de las tres inspecciones básicas, y chequeadas con las tolerancias admisibles entregadas por casas clasificadoras, se le informa al armador del estado de la propulsión.

**En caso que se decida desmontar la propulsión.**

1. No se realizan mas inspecciones en sitio, de acuerdo a las calibraciones de las holguras permisibles de los elementos al estar fuera de tolerancia se procede a la reparación.

2. Se desmonta la propulsión completa, cada elemento de la propulsión será desamarrada para ser llevadas al taller y proceder a su respectiva reparación de acuerdo a los estándares de operación con cada elemento que deberá ser rectificada para una correcta funcionalidad.

### **Inspecciones posteriores al arenado:**

Para complementar la inspección de los elementos de la propulsión se efectúa un arenado para extraer la grasa y zonas de corrosión, para así facilitar la inspección posterior y tomar medidas correctivas al sistema de propulsión:

1. Inspección de la fibra de vidrio, desmontar con autorización pasada los cuatro años.
2. Observación del estado de los ejes, posibles grietas, estado de los coples, chavetas, posibles trabajos realizados con soldadura, etc.
3. Realizar prueba con líquidos penetrantes a posibles grietas como; Cono eje cola, hilo tuerca y eje, hélice, coples, ejes en sectores conflictivos, chaveteros, prensa estopa.
4. Chequeo de asentamiento eje versus hélice.
5. Chequeo balanceo estático hélice.
6. Chequeo juego existente entre la prensa estopa eje cola y el tubo codaste, más el estado del tubo por corrosión.
7. Chequeo de la deflexión y tolerancias de diámetros mínimos de ejes y camisas.
8. Chequeo del estado del sistema de engrase descansos y prensas.
9. Chequeo del estado de las bases de los descansos.

10. Chequeo de la funda guardacabos.

11. Chequeo de la prensa estopa, gland, espárragos.

**En caso de no desmontar propulsión, se deben seguir las siguientes indicaciones:**

Las indicaciones que se dan en caso no se procedan al desmontaje del sistema de propulsión, ya que las tolerancias entre las luces de los componentes están dentro de los rangos permisibles que se indican en la especificación técnica del taller de montaje. Se verán:

1. Revisión del estado de los puños o camisas de los ejes. Los cuales no deben tener desgastes deformes, ni ralladuras visibles.
2. Tomar caídas y cuña en el acoplamiento. La cual no debe ser superior a 0,13 mm.
3. Medición de cuñas de los coples del eje.
4. Realizar alineación posterior a las inspecciones cambiando pernos o tuercas necesarias.

En este procedimiento se dejan inspecciones sin realizar, por ejemplo el estado del tubo codaste, o sitios inaccesibles, la calidad de los descansos rotulados.

La decisión final de dejar la propulsión sin desmontar dependerá exclusivamente de la información entregada por el astillero en acuerdo con el armador.

## CAPITULO IV

### FUNDAMENTO DEL ALINEAMIENTO POR RAYO LASER DEL SISTEMA DE PROPULSION

#### 4.1. MÉTODOS CONVENCIONALES DE ALINEAMIENTO

En capítulos anteriores definimos el término de alineamiento, como a su vez, enumeraremos algunas de las faenas involucradas en él. En este capítulo haremos mención a los conceptos de alineación fría y caliente, estos a su vez definen las técnicas o métodos utilizados para ejecutar la respectiva alineación de la línea de eje central de la máquina.

No puede decirse que exista una convencionalidad en los métodos utilizados, puesto que su aplicación depende de la certeza con la cual se pretenda alinear. Las características distintivas en los métodos son: la infraestructura en materiales, equipos e instrumentos necesarios; así como también, la cantidad y la calidad del personal relacionado con el desarrollo del alineamiento. También mencionaremos las acepciones del alineamiento en frío y que serán tratadas en este informe, a saber: alineamiento en frío interno y alineamiento en frío externo, ambas susceptibles de utilizar en máquinas en condiciones de no operación. Las técnicas vinculadas al alineamiento en frío interno definen una restricción fundamental para sus aplicaciones, la maquinaria debe estar destapada. El desarrollo de estas técnicas puede originarse tanto en las etapas de montaje como en la de una eventual reparación, para las cuales el eje aún no se haya instalado. Las faenas de

alineamiento están orientadas a lograr una alineación de descansos, bancadas y en general elementos internos los cuales contienen el eje al ser instalado.

Asimismo, el alineamiento en frío externo está orientado a conseguir la alineación de los ejes de las máquinas involucradas, tomando a cada una de éstas como un todo. Esto último es significativo pues da las características distintivas finales entre las acepciones del alineamiento en frío.

Para el caso del alineamiento en frío interno, todas y cada una de las correcciones necesarias para obtener la última alineación se desarrollan en los descansos o elementos internos, posicionándolos de manera que el eje asuma posteriormente entre ellos; ya sea una curva suave o una recta.

Para el caso del alineamiento en frío externo, las correcciones necesarias son realizadas desplazando la máquina completa. Son las máquinas que conforman el tren en alineación, las que se posicionan de manera que al acoplar los ejes, adquieran una curva suave o una coaxialidad. Vale decir entonces, que la aplicación del alineamiento en frío externo es posterior al correspondiente alineamiento en frío interno.

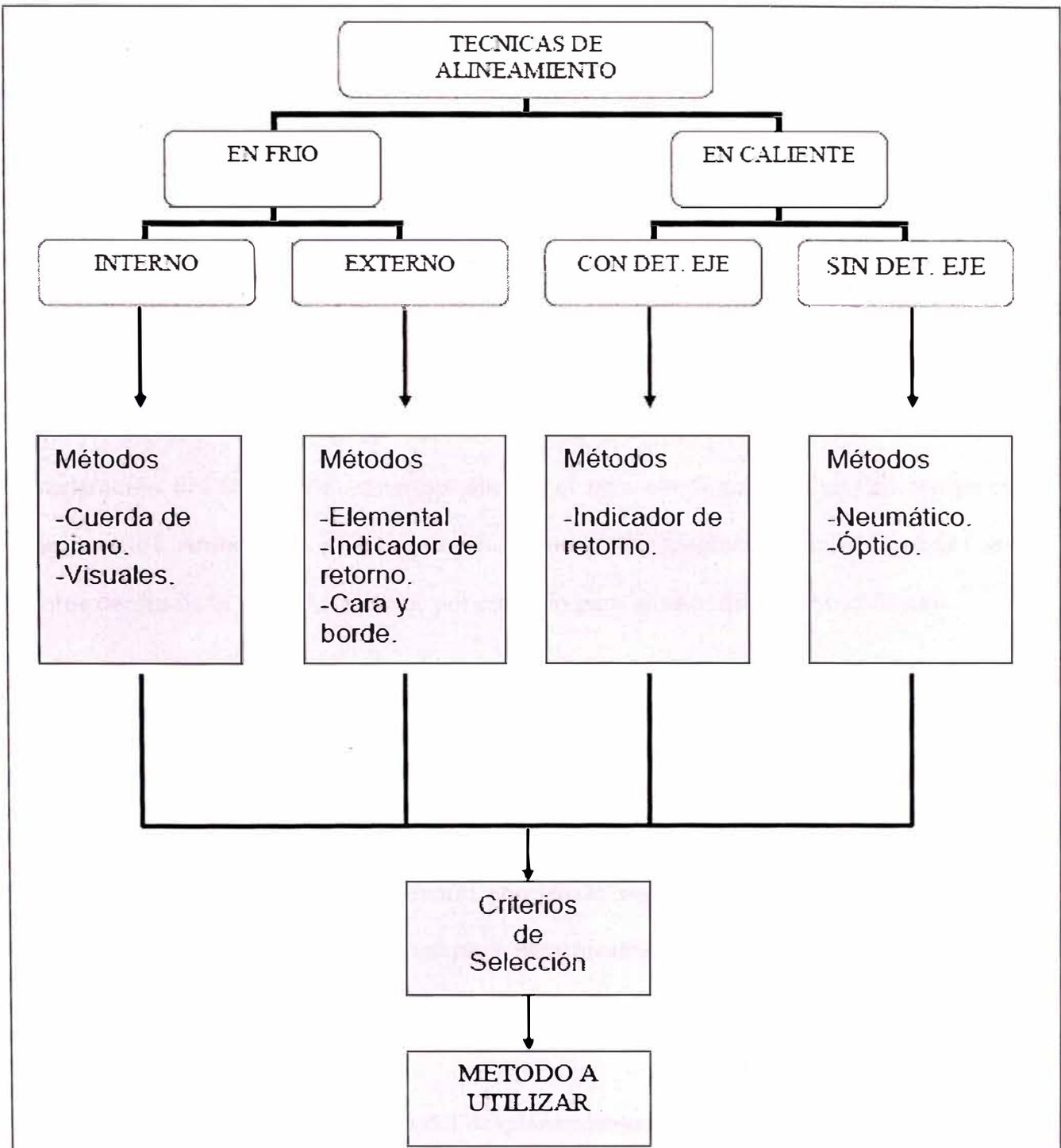
En muchas ocasiones, el alineamiento en frío se realiza teniendo presente las desviaciones que se presentarán en los ejes, relativas a sus posiciones estáticas; o sea, se toman en cuenta las condiciones de operación de los equipos. Las desviaciones mencionadas pueden ser dadas por los fabricantes de los equipos y como consecuencia

de esto, al realizar el alineamiento en frío, las máquinas quedarán virtualmente desalineadas; para luego, una vez alcanzados los regímenes estables, para los que tienen validez estas desviaciones dinámicas de los ejes, se produzca el alineamiento necesario.

Cuando no se posean las desviaciones subyacentes a las condiciones de Operación, éstas deben ser determinadas por algún medio para subsanar los efectos de los desalineamientos en condiciones dinámicas. Las técnicas de alineamiento en caliente tienen como objetivo cuantificar los desplazamientos de los ejes, suscitados en los regímenes estables de operación, referidos a las posiciones estáticas iniciales.

La citada cuantificación se realiza, en algunos casos, por medio de un monitoreo continuo, obteniendo así una descripción de los movimientos acaecidos en los ejes de las máquinas a través del tiempo. Una comparación de los resultados de monitoreo realizados con las especificaciones prescritas por los fabricantes de los equipos, es un índice para analizar las condiciones de operación de diseño con las condiciones de operación reales.

Una enumeración de las técnicas de alineamiento, involucra implícitamente una diferenciación del concepto de alineación, aunque, los fines de todas y cada una de ellas son los mismos. A continuación se ilustra los métodos correspondientes a las técnicas de alineamiento.



Diferentes técnicas de alineamiento que se pueden utilizar asegurar la Correcta posición de la línea de ejes.

#### 4.2 ALINEAMIENTO DEL SISTEMA PROPULSOR POR RAYO LÁSER.

En los inicios de los años 80, emergió este nuevo sistema de alineamiento para ejes, cuyo principio de funcionamiento es sencillo y que sin duda revolucionó la industria por su facilidad de uso y exactitud de resultados.

El sistema de láser óptico mide el desplazamiento radial en relación a una distancia axial conocida. Usando brackets (miras) de fijación multipropósito, un emisor de láser de baja potencia es fijado en uno de los ejes a alinear (generalmente en el eje móvil por consideración del fabricante) mientras que en el otro eje fijamos la unidad receptora (estacionario). Ambos ejes podrán estar acoplados o desacoplados (también pueden ser puestos dentro de la unidad a alinear, por ejemplo para alineación de tubo codaste).

El haz de láser viaja a lo largo de la línea de ejes, pasando cerca del acoplamiento y llegando al receptor, donde es recibido y detectado por múltiples detectores linealizados.

Aquí es donde el proceso de medición comienza; según se giran los ejes de forma continua o en varias posiciones, cualquier desalineamiento causa que el haz del rayo láser, cambie su posición, respecto al punto de incidencia, dentro del sistema detector.

La computadora utiliza la medición del desplazamiento de este haz de luz, en relación a la distancia entre el centro del acoplamiento al receptor para calcular la condición de alineamiento que podrá ser expresada en cualquier posición.

Para una mayor información acerca de los componentes del sistema de alineación láser, así como los diferentes programas y forma de uso de ellos, se recomienda ver detalle en el Apéndice 2.

La imagen continua muestra la alineación de los acoplamientos de ejes giratorios de las maquinas para la buena transmisión con el equipo laser.

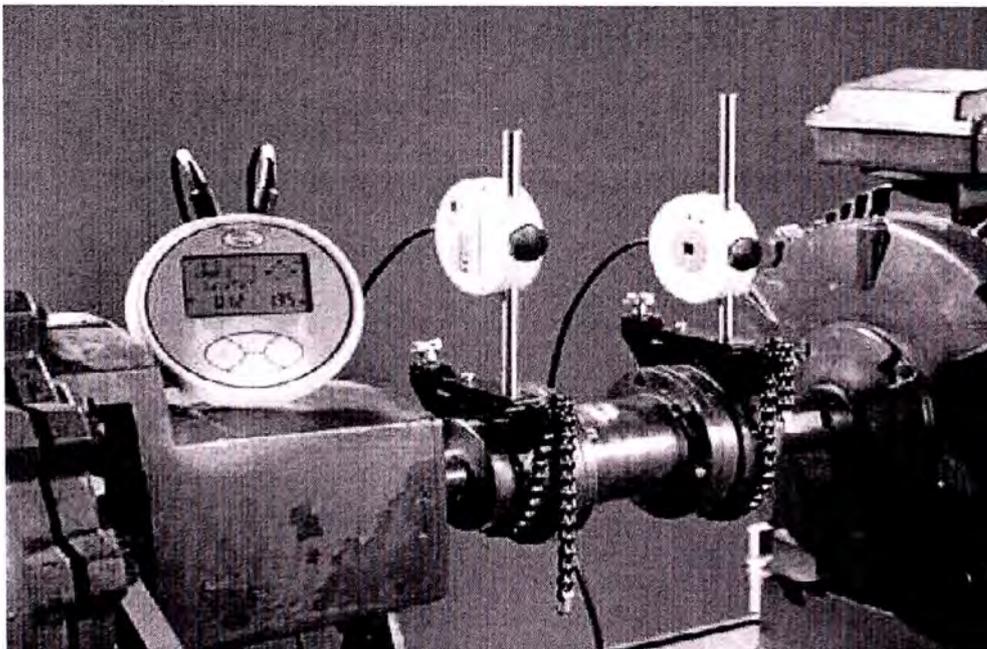


Figura 4.2.A Trabajando con el método láser de alineamiento.

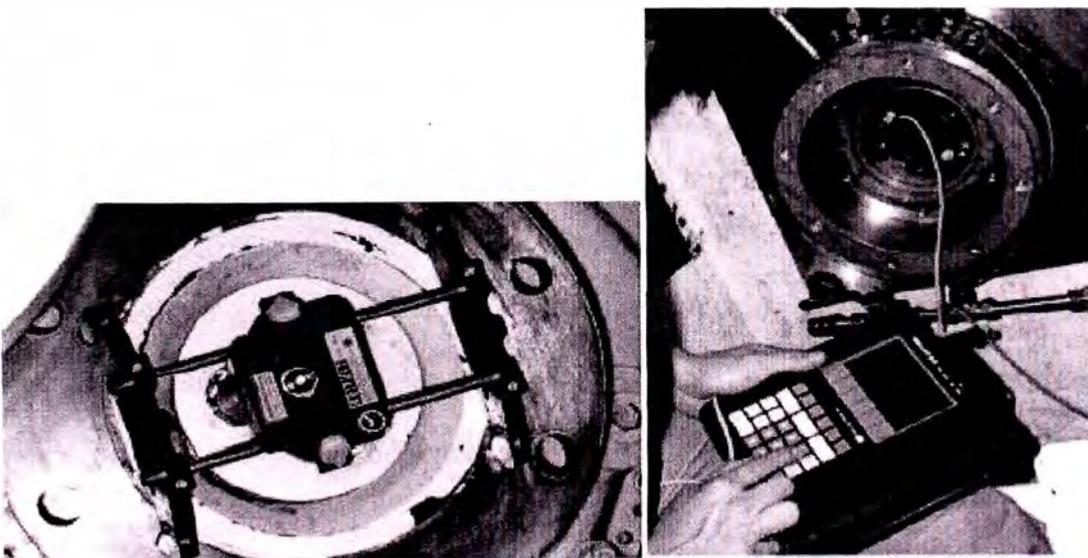
Una vez ubicada unidad emisora y receptora en ejes a alinear procedemos a girar el eje en la cantidad de grados especificadas por el fabricante (desde 40 a 360 grados) para obtener en unidad almacenadora de datos las dimensiones correspondientes.

Los métodos actuales para corregir el desalineamiento, son inadecuados y poco confiables debido a su complejidad, falta de personal entrenado, poca atención por parte

del personal de mantenimiento. Y un programa planeado para corregir los problemas de alineación preferentemente usando tecnología asistida con rayo láser óptico, puede generar ahorros considerables debido a:

- Reducción de consumo de energía
- Ejecución de los trabajos de alineación más rápidos y de mayor calidad.
- Gran precisión en la alineación de ejes acoplados.

A continuación se presentan imágenes de alineación de un tubo codaste en que el emisor y el receptor se ubican dentro del tubo codaste y en el acoplamiento del motor. Con este sistema las mediciones se realizan mediante el empleo de emisor y prisma, las misma que son sujetados a los ejes o a las mitades del acoplamiento de las maquinas mediante brazos universales de fijación rápida.



Figuras 4.2.B Secuencia de trabajo con método láser.

#### 4.2 EQUIPO RAYO LASER AGL-SLB-110

Equipo utilizado por el Astillero para las verificaciones del alineamiento del sistema de propulsión desde el extremo de popa a la brida de la caja de transmisión, su ubicación del equipo Laser en el extremo popa para su aplicación es tal como muestra. Es así como en el astillero se efectúa la verificación del alineamiento de la línea de ejes.

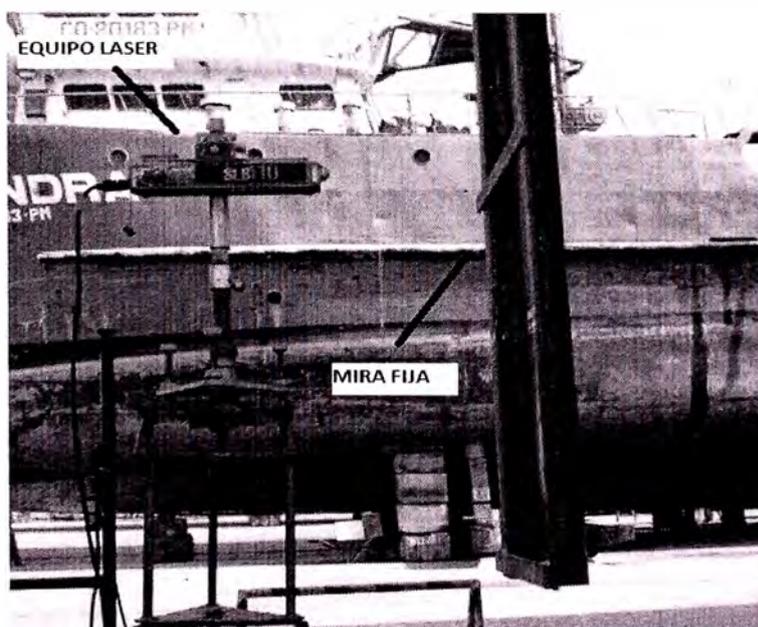


Fig. Equipo Laser en Popa

El pasar el rayo laser a lo largo de la línea de ejes nos da referencia de los puntos principales de la línea de ejes, así se tendrá que examinar los puntos de apoyos y los extremos de popa y proa del tubo codaste y la cara de la brida de la caja reductora. Una muestra de cómo se determina y verifica la línea de propulsión es la que muestra a continuación y se suscita en cada embarcación a su subida a varadero.

La determinación o comprobación de la línea de ejes a lo largo de la estructura longitudinal, en que soporta el sistema de propulsión con sus componentes y tiene como principio tomar referencias tal como detalla el esquema continuación.

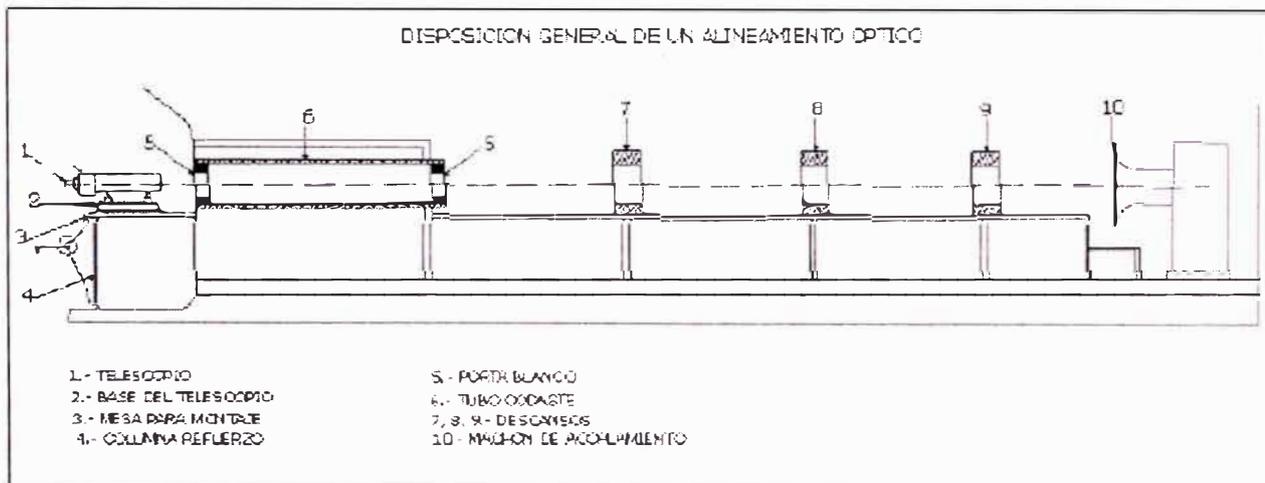


Fig. Verificación de alineamiento con Equipo Laser en Popa

#### 4.2.1 VENTAJAS DEL ALINEAMIENTO CON SISTEMA.RAYO LASER

El sistema de alineamiento con rayo láser óptico, se ha brindado la oportunidad a los técnicos de mantenimiento, de alinear los acoples más rápido, más fácilmente y con mayor precisión. Son muy exactos, versátiles, fáciles de configurar, y proporcionan resultados bastante libres del error humano.

En la actualidad la alineación de maquinaria es realizada, en el mejor de los casos de manera irregular, y en el peor de los casos, ni se lleva a cabo en muchas plantas, por lo tanto la aplicación de este sistema cuenta con varias ventajas:

- Método más exacto que podemos encontrar para realizar una alineación.
- Alinea máquinas horizontales y verticales.
- Alinea ejes acoplados y desacoplados.
- Muy fácil de operar.
- Software y conexión a PC e impresora.
- No existen desviaciones ya que el láser no tiene catenarias.
- El centro de un cojinete puede ser perfectamente encontrado.
- Es claro, rápido y no deja dudas. Es conforme a normas ISO 9000.
- Permite considerar en forma automática el crecimiento térmico y la flexión del eje.
- Podemos calcular desalineamiento paralelo y angular en forma inmediata.

#### **4.2.2 DESVENTAJAS DEL SISTEMA.**

La técnica del alineamiento con rayo láser óptico, nos brinda soluciones de mantenimiento y definición de línea de ejes, más rápido, más fácilmente y con mayor precisión. Y brinda facilidades de configuración, y proporcionan resultados bastante libres del error humano.

La moderna utilización de los equipos de rayo laser nos permite definir la línea de ejes con facilidad, pero existen debilidades que llevan a la limitación en su aplicación debido a factores directos en su adquisición y aplicación en el campo de la alineación.

Es así que este sistema moderno nos muestra ciertas desventajas en el aspecto técnico y económico así como:

- Como desventaja solo podemos mencionar el alto costo de adquisición del producto para un astillero, es alrededor de 12.000 dólares.
- Costo por adiestramiento y mantenimiento del equipo en cada proceso de pasar rayo a la línea de ejes.
- Equipos con elementos frágiles que necesitan ser usados con cuidado.

## CAPITULO V

### ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSION

#### 5.1 GENERALIDADES DEL PROCESO DE ALINEAMIENTO

Podemos definir como alineamiento, el proceso de montaje de dos elementos móviles de tal modo que sus ejes de simetría presenten continuidad dentro de ciertas tolerancias preestablecidas.

De la misma forma como tenemos el desalineamiento paralelo y desalineamiento angular, tenemos el alineamiento paralelo y angular, ésta explicación viene a ser muy importante a la hora de aplicar el procedimiento de alineación elemental ya que si bien es relativamente fácil su aplicación, no lo es su comprensión.

Además es en este punto, donde fijamos los precedentes para entender el análisis de procedimiento de alineación racional y de cómo nos desenvolveremos frente al computador para trabajar con software de elementos finitos.

Finalmente, nos da las bases para la ejecución del procedimiento de trabajo que veremos, y como un buen proceso de alineamiento llega a convertirse en la suma de la aplicación de los distintos métodos de alineación y de cómo, éstos se complementan para lograr un mejor resultado.

### ALINEAMIENTO ANGULAR:

Proceso aplicado principalmente a las líneas de ejes de gran dimensión, generalmente cuando los buques tienen sus salas de máquinas a proa o en la sección media del buque.

Como idea básica de este proceso podemos asumir la línea de ejes de propulsión como una viga, la cual, debido a su peso (asumido como una carga uniforme distribuida) y la reacción que los descansos ejercen sobre ella (fuerzas de reacción contrarias a las del peso), sufrirá inevitablemente deformación en el sentido longitudinal.

Al adquirir una deformación el eje, las bridas de acoplamiento ganan un pequeño ángulo entre ellos los que debemos conservar para mantener la línea natural de los ejes de propulsión.

Para medir las tolerancias que debemos dejar entre las caras de unión y mantener las distancias del ángulo adquirido, usaremos una herramienta llamada **feeler** que es un medidor de espesores, para ello tomamos las medidas en cuatro puntos distintos de las bridas unidas, separados a 90 grados cada una.

### ALINEAMIENTO PARALELO:

Este proceso es aplicado a las líneas de ejes cortas, en donde la sala de máquina está a popa del buque. Consiste nada más, en asegurar que el eje no sufre deformaciones debido a su peso por lo corto que es y porque los apoyos están muy juntos el uno de

otro. Entonces al estar perfectamente recto, las caras de unión sólo deben ser verificadas en altura, lo cual es posible con una regla.

## 5.2 IMPORTANCIA DEL ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE EJES

Un trabajo de suma importancia en la instalación del sistema propulsor lo constituye el alineamiento de ejes. Un alineamiento apropiado a las máquinas conectadas es muy importante para la vida útil y la resistencia de las partes constituyentes de éstas y la de los acoplamientos, como también una reducción en los costos de mantención.

Las razones que se aluden para exigir la máxima seriedad y competencia en las faenas de alineación en un sistema de ejes, es la gran importancia que tiene el alineamiento en la introducción de tensiones adicionales que acarrear vibraciones, calentamientos, trabazones y desgastes de los acoplamientos, fallas en los descansos, sellos, etc.

Un buen alineamiento consiste de tres etapas interrelacionadas, las cuales poseen el mismo nivel de predominancia para el logro de los objetivos de la alineación, estas son:

### ESTUDIO DEL SISTEMA

Esta es la etapa preliminar que constituye en el estudio de él o los equipos involucrados y su relación con el espacio circundante, siendo varios de los pasos preliminares con características vitales que se desarrollan con anticipación al alineamiento en frío real.

Es esencial que la o las personas responsables del alineamiento hayan llevado a cabo en forma apropiada todos los pasos que constituyen el pre-alineamiento. Claro está, que no se puede hablar de una secuencia universal puesto que depende de las características propias de cada sistema.

Muchas veces esto se traduce en realizar lo prescrito por los fabricantes, siempre que los equipos y las instalaciones sean nuevos, sin embargo, cuando se esté frente a un sistema ya usado o este ha sido usado bajo condiciones extremas, la revisión deberá ser más severa.

Algunos puntos que conforman el sistema y requieren de atención específica son:

- Descansos de apoyo.
- Ejes.
- Lainas y cuñas.
- Bocina.
- Acoplamientos.

### ALINEAMIENTO EN FRÍO

Esta etapa se refiere a lograr la coaxialidad de los ejes en una condición fría o de no operación. Y se refiere a posicionar la línea de centro del eje motriz con respecto a la línea de centro del eje conectada, pero con ambos en una condición de no operación. Las correcciones de desviaciones paralelas y angulares entre los ejes citados están implícitas en este término.

La importancia se debe a que normalmente es la única verificación que se efectúa en forma directa para determinar la posición relativa de los ejes involucrados. Los resultados de esta verificación forman la base para la determinación del alineamiento de los ejes durante la operación de las correspondientes máquinas.

### ALINEAMIENTO EN CALIENTE

Esta etapa pretende lograr la alineación de los ejes, pero cuando las máquinas estén en condiciones nominales de funcionamiento. Las faenas de alineación están íntimamente ligadas a la anterior. En aquellas máquinas por las cuales circulan fluidos a elevadas temperaturas, o en aquellas en que circulan fluidos fríos; se producirán dilataciones o contracciones respectivamente.

Un problema aún más crítico aparece cuando no se poseen las especificaciones de los fabricantes referidas a las desviaciones producidas en las condiciones de funcionamiento. Aquí entra en juego el sentido común y la habilidad de él o los responsables del alineamiento para estimar las correspondientes desviaciones y reflejarlas en la etapa de alineación estática.

No son solo las dilataciones o contracciones producidas por los efectos térmicos, ni los asentamientos, ni las vibraciones excesivas, las únicas responsables del desalineamiento en caliente, sino que también inciden en éste, la acción de las fuerzas hidráulicas, aerodinámicas y las reacciones de torque.

### 5.3 CONSIDERACIONES PARA EL ALINEAMIENTO

En esta sección revisaremos algunos de los factores externos más dominantes que influyen en la alineación de los ejes de servicio, estos son: los efectos de las alteraciones de calado, influencias térmicas, empuje excéntrico de la hélice, inclinación y flexibilidad de los descansos.

Trataremos así mismo, la importancia de considerar la flexión angular entre el eje y el casquillo de la bocina de popa y la alineación en el dique. Se concluye que para aproximarnos al concepto de alineación óptima debemos analizar todos estos factores anteriores en la realización de nuestro proyecto.

#### CRITERIO DE ALINEACIÓN

A continuación se presenta un resumen con los criterios de alineación más importantes:

1. En instalaciones engranadas, las reacciones en el descanso de engranaje deben ser aproximadamente iguales a temperatura normal de trabajo. La diferencia admisible entre las reacciones del descanso de engranaje la especifica generalmente el fabricante. Debemos tener especial cuidado en este tipo de instalaciones ya que una desalineación produciría una distribución de cargas no uniforme en los dientes del engranaje, lo cual puede producir averías en estos dientes.

2. La distribución de cargas en la bocina debe ser lo más uniforme posible, sin presiones extremas en el borde, en todas las condiciones normales de funcionamiento, incluyendo el giro lento del empuje.
3. El momento flector transmitido desde la línea de ejes al eje de engranaje, debe estar dentro de los límites aceptables.
4. Todos los descansos deben tener una considerable carga neta hacia abajo. El ángulo de la línea central del eje con relación al casquillo del descanso debe estar dentro de valores razonables, con el fin de evitar cualquier presión pronunciada en el extremo.
5. Las tensiones en todas las partes de la línea de ejes deben ser aceptables.
6. El sistema de la línea de ejes debe tener una flexibilidad transversal adecuada para tolerar determinados errores o cambios de alineación (ejemplo: debido a las flexiones del casco, efectos térmicos, etc., debe concederse la debida consideración a las características de vibración del sistema.

## 5.4 FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE LA ALINEACIÓN DEL EJE

### 5.4.1 CALADO:

En general la rigidez de la línea de ejes ha aumentado, esto significa que la línea de ejes principal, especialmente en buques de gran tamaño, se ha hecho más sensible que antes a los cambios de calado. Como la alineación de los ejes se realiza en condiciones de muy poco calado o incluso en dique de construcción, es evidente que cualquier influencia importante sobre la alineación, debida a cambios en las deformaciones de doble fondo en diversas condiciones normales de carga del buque deben documentarse con el mayor cuidado, con el fin de obtener:

- 1.-Las correcciones necesarias de la curva de alineación en la condición de armamento.
- 2.-Las modificaciones necesarias posibles de la disposición del eje (por ejemplo, distancia de los cojinetes, ó la rigidez de la estructura del doble fondo).

### 5.4.2 EFFECTOS TÉRMICOS:

Como la primera alineación de la línea de ejes debe efectuarse en frío, es esencial disponer de una precisión fiable, con la magnitud de la diferencia de temperatura de cojinetes de la caja reductora y los cojinetes de la chumacera, en condiciones normales de funcionamiento. Este aumento en los cojinetes de la caja reductora se debe a la expansión térmica de la propia caja reductora, también a la diferencia de temperatura entre los soportes de la chumacera y el soporte de la caja reductora.

### 5.4.3 EMPUJE:

Las fuerzas de empuje excéntricas de la hélice introducen un momento flector en el extremo de popa de la línea de ejes que disminuye gradualmente hacia el extremo de proa (ver figura 5.4.3a) La magnitud y dirección del momento flector depende en gran parte de la geometría de la estela y de la hélice, las cuales pueden determinarse por pruebas con modelos.

La posición media del centro de empuje cambia con el calado y las condiciones de funcionamiento, especialmente en las grandes embarcaciones con diferencia de calado considerable entre las condiciones de carga y lastre, la magnitud y también en algunos casos la dirección del momento flector puede variar considerablemente.

El momento flector debido al empuje influirá principalmente sobre las reacciones de los cojinetes de la parte de popa de la línea de ejes. Especialmente la distribución de presión en el casquillo de la bocina puede variar con la condición de funcionamiento.

El descanso de empuje y su asiento pueden deformarse o inclinarse debido a la fuerza de empuje (ver figura 5.4.3c), esta figura muestra la inclinación de proa del descanso que se experimenta normalmente. Una inclinación similar del descanso de empuje, se produce en la mayoría de los casos durante la carga del buque, la inclinación del descanso de empuje puede dar lugar a una distribución no uniforme de empuje entre los segmentos de empuje de los cojinetes, lo cual induce un

momento flector externo adicional en la línea de ejes aplicadas en el collarín de empuje.

Influencia de las reacciones del descanso debidas a la excentricidad de empuje y momento de flexión adicional del descanso de empuje caso a y b.

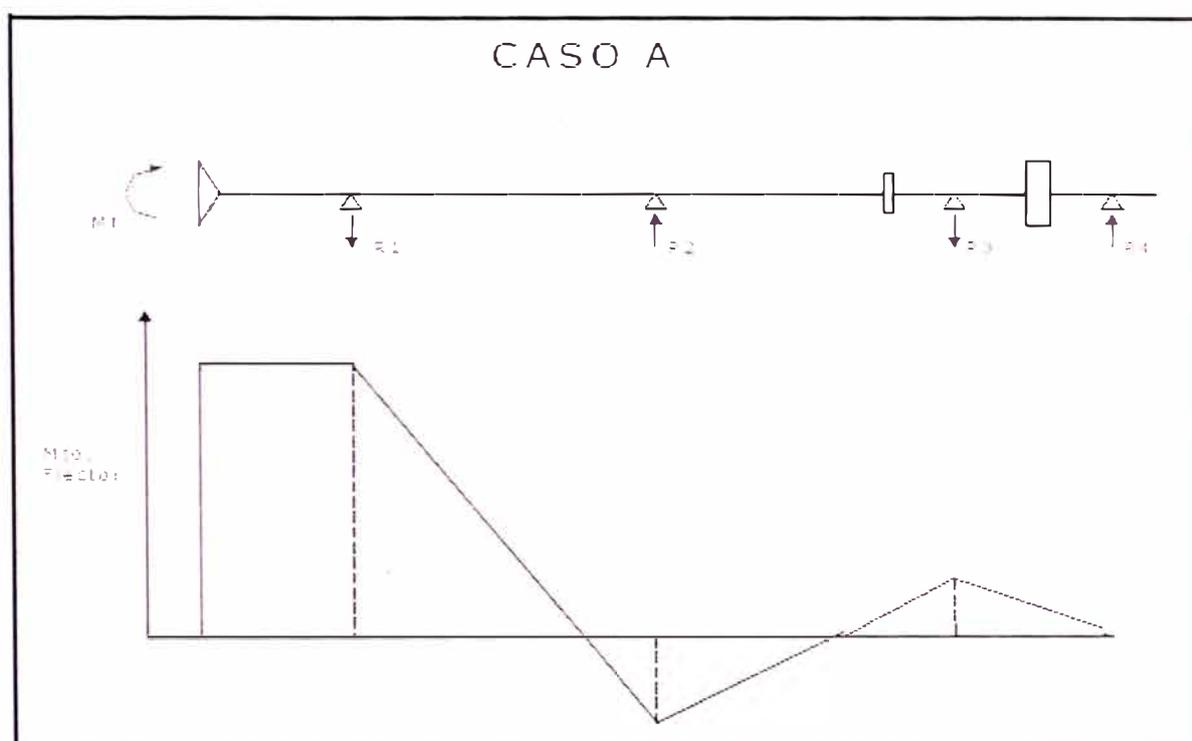


Figura 5.4.3a

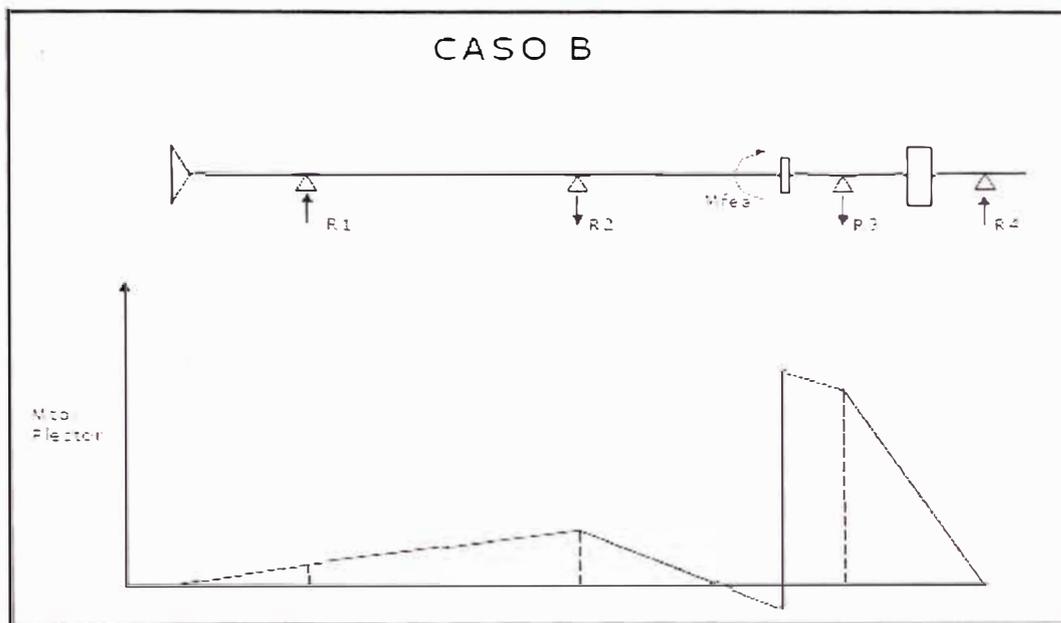


Figura 5.4.3b

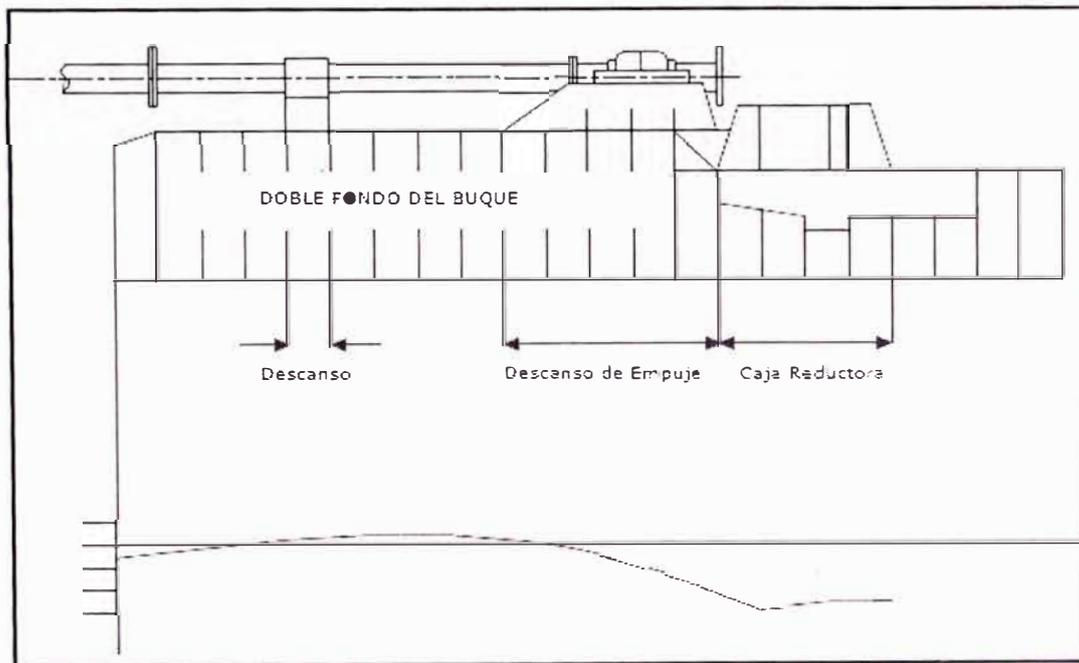


Figura 5.4.3c Deformación vertical de la tapa del doble fondo debida a la fuerza de Empuje.

#### 5.4.4 FLEXIBILIDAD DEL DESCANSO:

Es una costumbre usual, al realizar los cálculos de alineación del eje, suponer que los descansos y soportes de descansos son infinitamente rígidos. Es evidente que esto supone una simplificación del problema; ya que las cajas de descansos, sus soportes en la estructura del buque y la capa de aceite, son elementos flexibles.

El supuesto de los descansos rígidos puede introducir serios errores en la valoración de las reacciones de los mismos, en los casos en que la rigidez de varios descansos varía de un modo completamente diferente a como lo hacen las reacciones de los cojinetes correspondientes. Para este caso la curva real de deformación de la línea de ejes puede variar considerablemente de la curva de deformación hallada con descansos que se suponen rígidos.

#### 5.4.5 FLEXIONES ANGULARES DEL EJE EN EL CASQUILLO DE LA BOCINA:

La mayor flexión angular del eje se produce generalmente en el casquillo de la bocina como consecuencia del peso de la hélice en voladizo. La fuerza de empuje excéntrica aumentará o reducirá la flexión angular, dependiendo de la estela (condición de carga) y de la geometría de la hélice.

Al producirse grandes perturbaciones en los cojinetes como consecuencia de la desalineación del casquillo de la bocina, se ha hecho hincapié en que la valoración del comportamiento del casquillo de la bocina es una parte importante en el análisis

del proyecto de alineación del eje, junto con la valoración de las reacciones de los cojinetes. Debe tenderse a la elección de la curva de alineación que engrane la distribución de presión longitudinal más uniforme posible en el casquillo de la bocina en condiciones normales de funcionamiento.

#### 5.4.5 ALINEACIÓN DEL SISTEMA EN EL DIQUE:

Cuando se pretende alinear la línea de ejes antes de poner el buque a flote, hay que conocer los cambios relativos de las posiciones de los cojinetes, de la condición de soportado a flotante. Esta información puede obtenerse por las condiciones de las deformaciones del doble fondo de la sala de máquinas.

Las dos condiciones deben incluirse como mínimo en el análisis.

- 1.- Buque en dique seco.
- 2.- Buque a flote en la condición de máxima carga.

#### 5.5 OBJETIVOS QUE DEBE CONSEGUIR UNA ALINEACIÓN ACEPTABLE

Podemos formular que un buen alineamiento debe cumplir con los siguientes objetivos:

- 1.- Asegurar que todos los descansos de la línea de ejes en todas las condiciones de servicio tengan reacciones positivas, es decir, que la línea de ejes se apoye siempre en la parte baja de su cojinete. Al aparecer una reacción negativa en cualquier condición de servicio, significaría que el eje está levantando el descanso, lo cual

induciría un deterioro en este (calentamiento por falta de lubricación) y aparición de vibraciones que podrían conducir a la rotura de elementos por fatiga de material.

2.- Se debe conseguir que la carga sobre los descansos del tubo codaste (bocina) sea lo más distribuida posible en todas las condiciones de servicio.

3.- Asegurar que en todas las condiciones de servicio el efecto de la línea de ejes sobre el motor, es decir, la fuerza cortante y el momento flector transmitido a través del acoplamiento, sean totalmente aceptables para el fabricante del motor. Esto se logra haciendo que las diferencias de las reacciones de los descansos de proa y popa del engranaje del reductor sean mínimas.

Las tres condiciones anteriores se pueden imponer a la línea de ejes, modificando la altura de los descansos.

#### 5.6.- ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSION DE EMBARCACION CON SALA DE MAQUINAS EN PROA.

El propósito de un alineamiento está basado en el análisis del sistema de ejes como una viga continua, que soportada por múltiples descansos (chumaceras) o apoyos determinan los modos de operación a una carga razonable. Este análisis resulta ser largo y complejo, por ello, será llevado a cabo mediante software de aplicación como es el Solid Edge 3D y comparado con los tablas que son proporcionadas y utilizadas

por el Astillero formuladas en base a datos estadísticos y mediciones realizadas en el torno con el reloj comparador durante la reparación del sistema.

Se realiza preferentemente en la etapa de diseño de la embarcación para poder contar con la mejor disposición y/o acomodación de los descansos de la línea de ejes, también se realiza en cada una de las revisiones posteriores si es que la línea de ejes o alguna pieza dependiente de ella sufren alguna modificación.

En la reparación del sistema de ejes serán revisados y evaluados para una mejor distribución de las cargas a lo largo de cada eje, por eso se realizara el cumplimiento y/o exigencia de las normas de clasificación y con los estándares del montaje del sistema de propulsión con que cuenta el Taller de Montaje para la buena ejecución del proceso de alineamiento de la línea de ejes.

La determinación de alguna manera la verificación del dimensionamiento de los ejes es en base a la potencia que entregara el motor principal del sistema de propulsión, como también la distribución de cargas para la correcta ubicación de las chumaceras en cada eje, la cual se indican en el formulado de Clase reguladora GL (apéndice C).

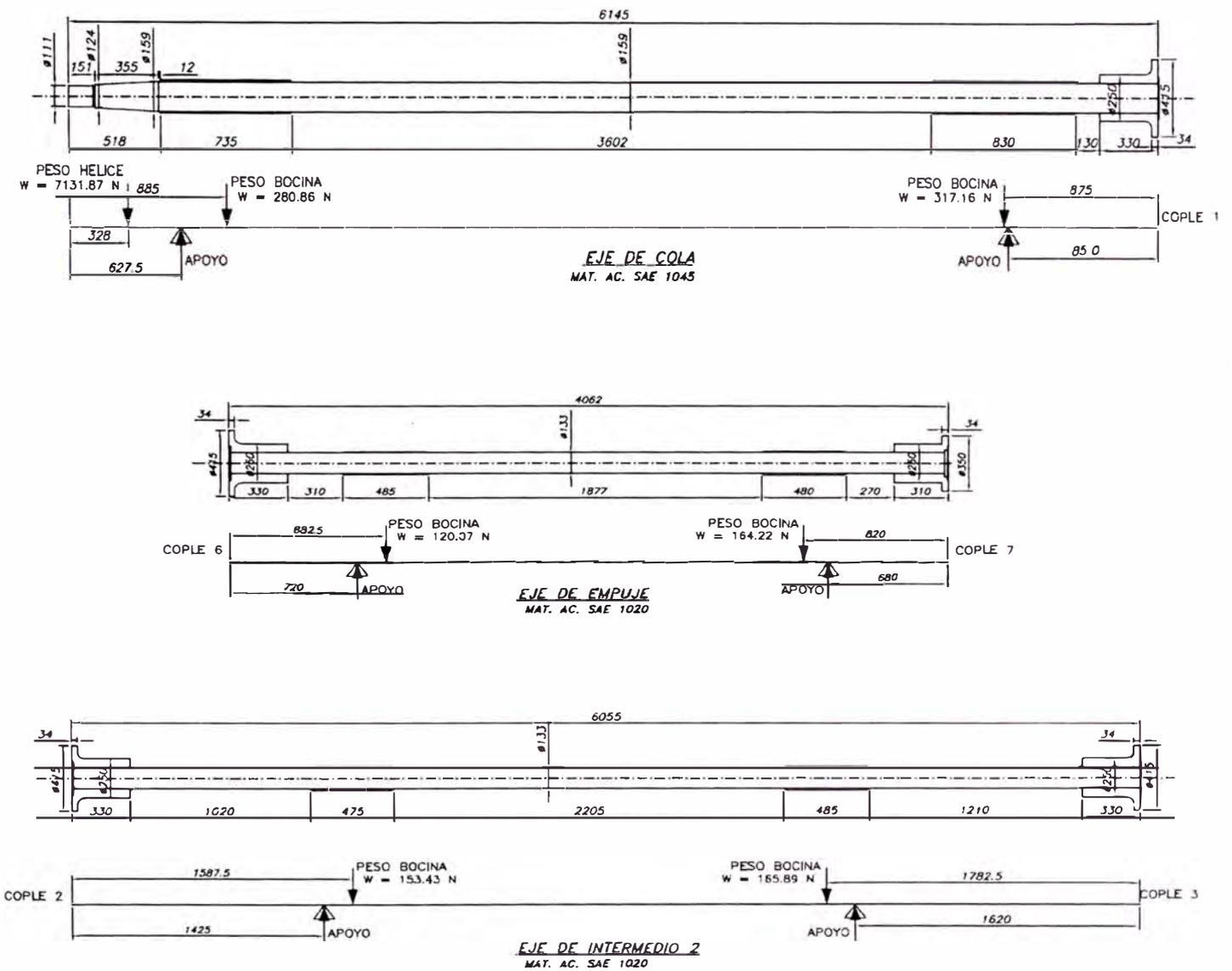
El principio de su aplicación es básica y simple, la cual se describe a continuación:

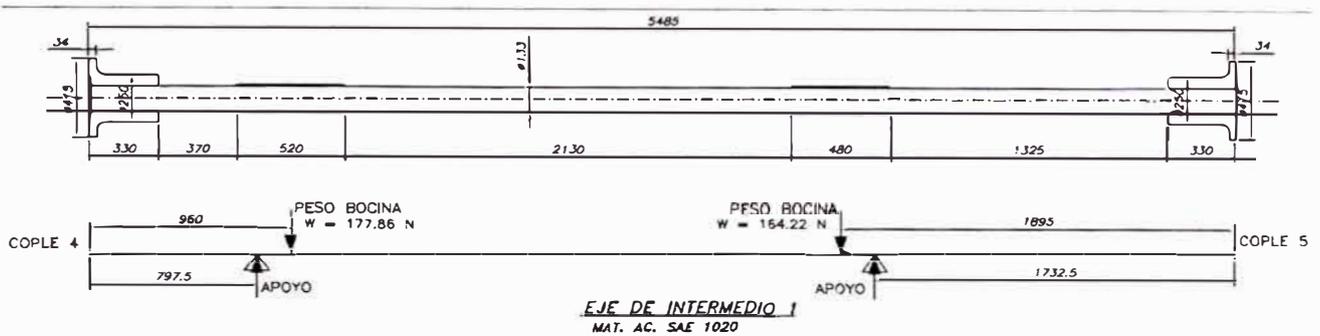
- Suponemos una línea de ejes imaginaria ideal (línea central del sistema), la cual no se ve afectada por ninguna carga ni deformación y es la que usamos como referencia.

- Luego asumimos nuestra línea de ejes de trabajo, la cual coincide con nuestra línea ideal ya que no hemos aplicado cargas a nuestro sistema. Ahora dividimos nuestra línea de ejes en las partes básicas de ésta, por lo cual los acoplamientos quedan sueltos.
- Luego definimos las cargas a las cuales está sometido nuestro eje, ellas son: el peso de la hélice y el peso propio; además, debemos definir las reacciones de los descansos; ahora el eje asumirá cierta deformación (calculada a partir de los momentos presentes en los apoyos), por lo cual, las bridas ya no quedan perpendicular a la línea de ejes, sino que forman un ángulo. Este ángulo es calculado en cada caso, para las diferentes bridas. Pero además de la diferencia angular existente, tenemos una diferencia de altura, la cual es fácil de obtener ya que solo debemos tomar como referencia la línea ideal que nos fijamos anteriormente.
- Teniendo estas medidas, son pasadas a terreno con dispositivos de linternas para dar la diferencia de altura calculada y por medio de un feeler para calcular el ángulo o cuña obtenida entre los coples.

El dimensionamiento de los elementos del sistema propulsor se define en base a las normas, siguiendo los criterios y formulas de la sociedad de clasificación, en función directa del momento torsor, así como también de los efectos axiales, flexión y dinámicos, que no se consideran de manera directa sino por márgenes en los coeficientes.

Presentamos a continuación la línea de ejes de una embarcación pesquera SIMY-3 de propiedad de pesquera CFG Investment, con un motor principal CAT 3512 y acoplada a una caja reductora Reintjes WAF-743, ubicada en la sala de maquinas proa, la cual tomaremos para el presente cálculo de alineamiento con los conceptos básicos expuestas en el presente informe.





### 5.7 CARACTERÍSTICAS DE APLICACIÓN DEL SOLID EDGE 3D.

La aplicación del Solid Edge posee una serie de pasos secuenciales que debemos respetar para su correcto uso, los cuales, están asignados para introducir datos específicos de nuestro modelo a analizar.

Pre procesó, es el primer paso para comenzar a trabajar en el Solid Edge, en él debemos definir:

- Modelado, en esta primera etapa trabajamos con la creación de la figura del eje completo líneas, para ello trasladamos las coordenadas de cada línea obtenidas del Autocad 2010.

Tipo de elemento: Para nuestro caso en estudio hemos definido el elemento Viga, obtenido de la librería del programa, el cual cumple con las siguientes características:

- Es un elemento de viga en 3D (tridimensional), el cual posee dos nodos y seis grados de libertad en cada uno de ellos, estos son: traslación en los ejes X, Y, Z y rotación en los mismos ejes.

Secciones: Se grafica la forma y dimensión de la sección transversal del modelo.

Constantes Reales: No son requeridas para nuestro elemento, las calcula en forma automática, pero en los demás casos se deben completar datos tales como inercia, área de sección trasversal, peso, etc.

Propiedades del Material; se asignadas a nuestro modelo lo siguiente:

Material (MAT): Isotrópico.

Densidad (DENS): 7820 kg/m<sup>3</sup>

Coefficiente de Poisson (PRXY): 0,29

Módulo de Young (EX): 2,068x10<sup>11</sup> N/m<sup>2</sup>

Mallado: Se procede a sincretizar el modelo mediante mallado automático anterior a obtener las soluciones requeridas.

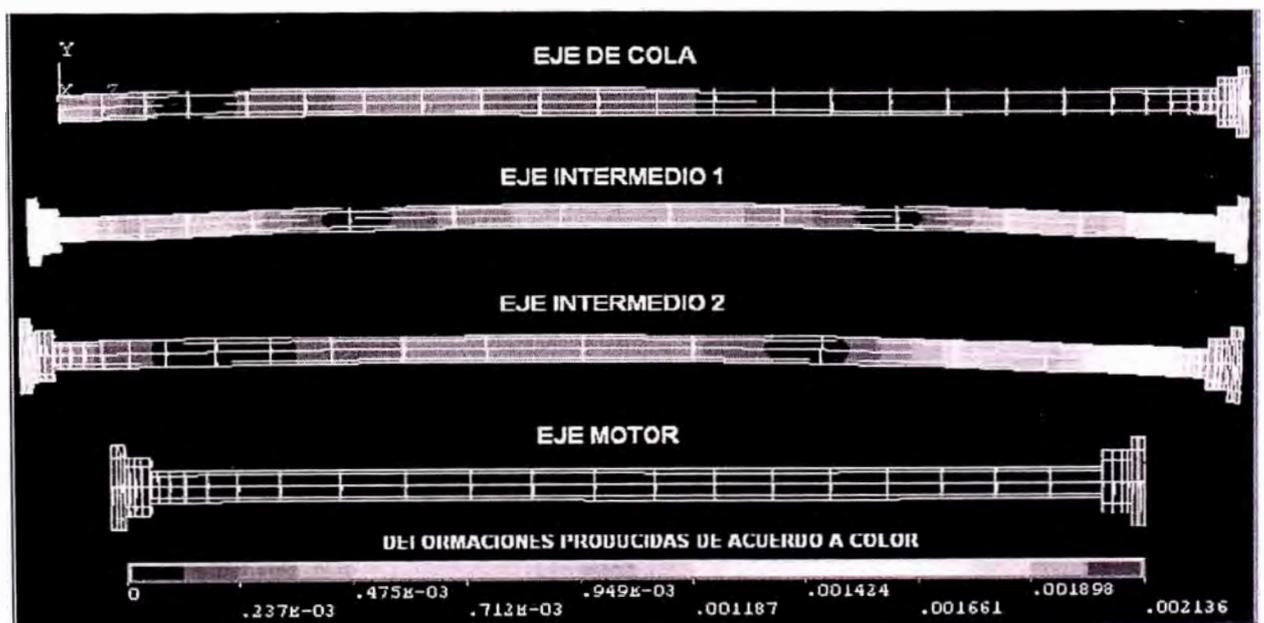
Solución: En ésta etapa del trabajo vamos a definir el tipo de análisis a realizar, las restricciones de contorno del modelo, la fuerza de gravedad y las demás fuerzas externas a que se verá sometido el modelo.

Tipo de Análisis: Elegimos el tipo de análisis que queremos simular, para nuestro caso basta con un análisis estático.

Definir Cargas: Aplicamos las cargas externas del modelo, para este modelo solo se aplica una carga equivalente al peso de la hélice. También se aplica la fuerza de gravedad que afectará a todo el modelo. Establecemos los tipos de apoyos para nuestro modelo, en nuestro caso serán apoyos simples en cada uno de los descansos, con restricción de traslación en los ejes X, Y.

Solucionar: Comando que servirá para ejecutar la solución del problema por cada elemento del sistema.

Post proceso: Nos ayuda a visualizar en forma gráfica y numérica las soluciones obtenidas del análisis realizado.



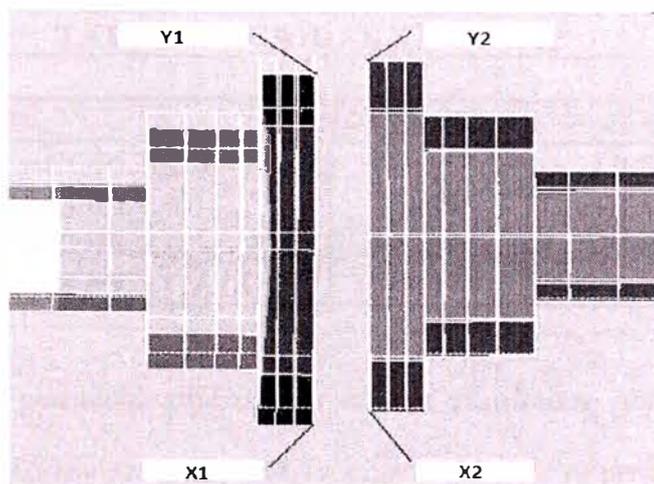
## 5.8 RESULTADOS DEL ALINEAMIENTO DEL SISTEMA:

A continuación se presentan resultados obtenidos en Solid Edge 3D, en la siguiente imagen es una presentación de cómo el sistema de ejes es simulado su comportamiento por las cargas a la que es sometida, se muestra la deflexión sufrida por el eje, debido al peso de la hélice en el extremo izquierdo del eje de cola y el peso propio en toda la línea. Esta gráficas nos dará un indicio de cómo deben quedar distribuidas las futuras cuñas que debemos aplicar a cada uno de los acoplamientos de la línea propulsora.

A continuación procedemos a detallar las dimensiones y forma de las deflexiones en cada una de las caras de acoplamientos de los ejes. El cuadro resumen muestra en primera instancia, el valor en coordenadas cartesianas, del punto ideal del acoplamiento indicado en gráfica, es decir, cuando el modelo no está sometido a ninguna fuerza, luego se presenta la nueva ubicación después de haber sido aplicada la concentración de cargas sobre el eje y éste ha sufrido deflexión, tal como muestra la tabla de caídas.

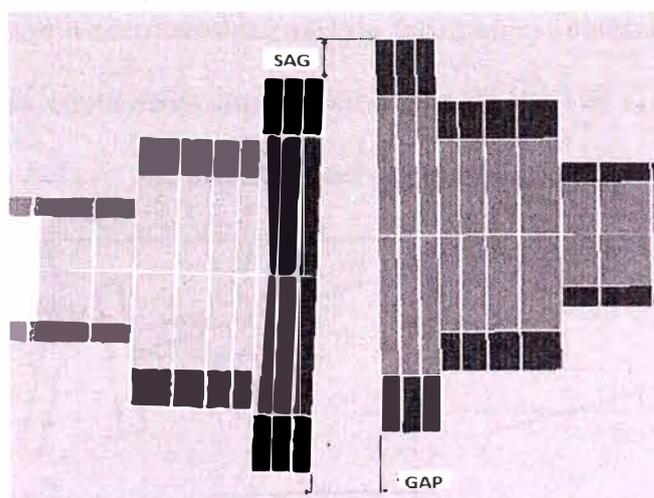
<b>TABLA DE CAIDAS EN COPLES</b>		
	<b>Y</b>	<b>X</b>
<b>COPLE 1</b>	0.00	0.00
<b>COPLE 2</b>	-1.75	0.51
<b>COPLE 3</b>	-2.32	0.60
<b>COPLE 4</b>	-0.46	0.24
<b>COPLE 5</b>	-2.40	0.57
<b>COPLE 6</b>	-0.12	0.07
<b>COPLE 7</b>	-0.09	0.05
<b>COPLE CAJA</b>	0.00	0.00

Además, se está simulando la posición ideal del eje con línea punteada e indicándose las posiciones relativas X y Y de acoplamiento de los ejes del sistema de propulsión.



## CUÑAS

Con los datos obtenidos anteriormente, podemos calcular las respectivas cuñas o tolerancias que debemos dejar en cada uno de los acoplamientos de la línea de eje tanto posición vertical (altura) como en posición horizontal (abertura).



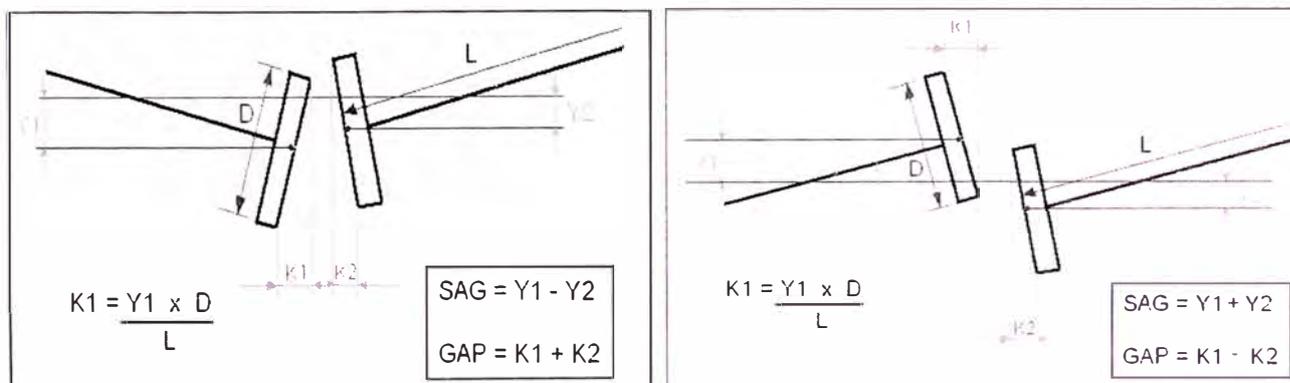
Resultado que en cada acoplamiento se presentara luego a haberse aplicado la carga en el sistema de ejes de la propulsión, la cual deberá ser evaluada de acuerdo a

estándares y exigencia de la clase para un buen alineamiento de acuerdo a la tabla obtenida por SAG y GAP.

TABLA DE CAIDAS SAG - GAP		
COPLES	SAG	GAP
COPLE 1 - COPLE 2	1.75	0.51
COPLE 3 - COPLE 4	1.86	0.84
COPLE 5 - COPLE 6	2.28	0.64
COPLE 7 - COPLE CAJA	0.09	0.05

Podemos observar pequeñas diferencias en los resultados obtenidos (décimas de milímetro), lo cual no reviste significativa importancia en el proceso de alineamiento final de la línea de ejes, debería ser de mayor cuidado por ejemplo, verificar la experiencia y profesionalidad de la persona que va a ejecutar el trabajo en terreno de dejar cada uno de los acoplamientos con sus respectivas cuñas.

Las experiencias realizada en muchos casos de alineamiento muestran que el SAG encontrado en base a recomendaciones de fabricantes, catálogos y/o tablas digitadas, han hecho que se encuentren una relación directa para el GAP, en relación a la luz (L) del extremo del eje y el diámetro del acoplamiento (D).



## CAPITULO VI

### ESTRUCTURA DE COSTO

#### 6. INFLUENCIA ECONOMICA EN EL ALINEAMIENTO DEL SISTEMA DE PROPULSION.

6.1 El precio de adquisición del motor y sus componentes, y que añadiendo el valor de la instalación determina un costo adicional al alineamiento del sistema.

6.2 El peso y las dimensiones de los elementos del sistema de propulsión influyen en forma directa la demanda del consumo de mano de obra. Un sistema voluminoso y pesado genera la capacidad de maniobrabilidad o incrementa los gastos en el montaje y posteriormente el alineamiento, aumentando de esta manera su costo.

6.3 Una planta propulsora no confiable, además de que representa un peligro a una operación segura, añadirá costo a la operación, debido al costo de las demoras o interrupciones de servicio y al costo de las reparaciones.

6.4 Las operaciones de mantenimiento involucran costos directos y pueden añadir costos indirectos por demoras en el servicio, lo que ocasionaría tiempos de no producción.

6.5 Los sueldos del personal de máquinas son una gran parte del costo operativo del buque, por lo que se tiene que mantener en operación continua.

6.6 Suministros como grasas, lubricantes y otros insumos representan una buena parte de los costos operativos, consumibles que requieren los elementos del sistema.

6.7 Una embarcación del tipo pesquero con maquina principal en proa está protegido por un seguro, en donde esta aseguradora lo hace una tasación en cuanto al casco y la maquinaria. Las primas anuales de estos seguros son un buen porcentaje del valor del buque, por lo que se hace una constante inspección periódica para lograr mantener en condiciones normales de operación.

6.8 La evaluación de un costo por alineamiento del sistema de ejes de una embarcación del tipo pesquero consta de un consumos de mano de obra por actividades sucesivas de acuerdo a las indicadas en el capítulo IV.

Los trabajos por mantenimiento luego de realizada la inspección del sistema a través de la inspección y calibración del sistema, conlleva un costo total, tal como muestra la liquidación de la embarcación luego de los trabajos realizados en varadero.

Item	Actividades de Alineamiento de Ejes	H-H	costo \$/H-H	Costo \$
1.0	Inspección y calibración del sistema	32	7.5	240.00
2.0	Desmontaje del sistema	144	7.5	1,080.00
3.0	Reparación del sistema	472	7.5	3,540.00
4.0	Montaje del sistema	144	7.5	1,080.00
5.0	Alineamiento del sistema	96	7.5	720.00
6.0	Prueba de navegación	32	7.5	240.00
				<b>6,900.00</b>

La presente liquidación de trabajos no considera ningún cambio de los elementos del sistema de propulsión. Cada elemento que se proceda al cambio genera un costo en la reparación del sistema generando un costo adicional de más de 100% por el alineamiento del sistema de propulsión.

Realizada todos los trabajos por reparación del sistema de propulsión, para la corrección del desalineamiento, luego del diagnostico que resulta de la calibración del sistema en base a las holguras permisibles en las zonas específicas del sistema propulsor. Al finalizar el alineamiento del sistema en oportunidades tenemos que la coaxialidad de línea de ejes no guarda coincidencia con la línea de la parte Motriz del sistema de propulsión, es decir muestran desfases en el punto de acoplamiento del eje de proa y la caja reductora.

Esto originaria un costo adicional por alineamiento del Motor y caja con la línea de ejes del sistema propulsor seria un monto, de acuerdo a los trabajos implicados en el alineamiento, será de acuerdo al listado indicado en el siguiente cuadro.

Item	Actividades de alineamiento de motor	H-H	Costo \$/h-h	Costo \$
1.0	Maniobra de subir y bajar	96	7.5	720.00
2.0	Pre-alineamiento de motor vs eje	128	7.5	960.00
3.0	Alineamiento de motor vs eje	160	7.5	1,200.00
4.0	Anclaje de motor y caja	80	7.5	600.00
5.0	Alineamiento de motor vs toma fuerza	72	7.5	540.00
6.0	Anclaje de toma fuerza	64	7.5	480.00
				<b>4,500.00</b>

El gasto indicado por el problema de desalineamiento en un sistema de propulsión, asciendo a un monto **\$ 11'400.00** dólares americanos.

Este gasto podría ser controlado con la debida planificación en el diseño de un sistema de propulsión bajo estrictas normas técnicas que nos permita una mejor distribución de cargas en los apoyos y ubicación respectiva, así como también un mejor dimensionamiento de los ejes del sistema a base a la calidad del material y coeficientes por efectos mecánicas que se suscitan en la transmisión mecánica.

## CONCLUSIONES

- ✓ Mediante el presente informe podemos adquirir información detallada de cada uno de los componentes de una línea de ejes, vemos su distribución y labor que desempeñan a lo largo de la propulsión de la embarcación y se dan procedimientos para su correcto mantenimiento en funcionamiento y cuando el buque sube a carena.
- ✓ Describimos el problema del desalineamiento, haciendo énfasis en la suma gravedad que puede ocasionar dentro del buque, hechos que pueden ir desde tener un mayor consumo de combustible diario o producir vibraciones excesivas en la embarcación que afectan la calidad de vida de la tripulación a bordo y la misma estructura de la nave, hasta producir rotura del eje que puede dejar a la deriva la embarcación sin tener la capacidad de propulsión propia.
- ✓ Es por la suma de los motivos mencionados anteriormente, que es de vital importancia realizar un correcto y minucioso proceso de alineación del eje de propulsión, este trabajo debe ser realizado por personal responsable y con experiencia ya que el factor humano es primordial para poder contar con buenos resultados finales.
- ✓ Se dan a conocer los principales tipos de alineamiento usados en astilleros, los cuidados que debemos tener cuando ejecutamos cada uno de ellos, sus principales ventajas y desventajas, además debemos mencionar que dichos procesos no deben realizarse en forma separada o solitaria ya que un proceso

efectivo, es la suma de todos ellos, desde el alineamiento racional obtenido por medio de un software de aplicación Solid Edge en la fase de proyecto hasta las mediciones finales de temperaturas de los descansos en el viaje de pruebas de la embarcación.

- ✓ Este procedimiento debe ser efectuado para una condición de carga específica de la embarcación, normalmente (en buques pesqueros) con el 100% de los consumibles y las bodegas vacías, ya que la embarcación será sometida a una serie de esfuerzos y deformaciones por situaciones de mar irregular y este será el peor de los casos de carga a los que se verá afectado la nave.
- ✓ Detallamos procedimientos de trabajo específicos referentes a la línea de ejes de propulsión de la nave, cuando ésta sube a carena. Estos procedimientos gozan de especial detalle y orden secuencial y fueron logrados por medio de trabajo de práctica profesional en Astilleros SIMA S.A. Es preciso recalcar que podemos realizar incontables procedimientos de trabajo escritos, pero ellos de nada sirven si no son correctamente aplicados en la práctica, para ello, debemos perfeccionar nuestros trabajadores e inculcarles el sentido de responsabilidad y orden para cada trabajo enmendado.
- ✓ Los resultados obtenidos en el alineamiento racional gozan de cierta tolerancia con los resultados obtenido por software de Astillero mencionado anteriormente, pero en ningún caso están erróneos o desproporcionados, recordemos que estamos hablando de décimas de milímetros, deberíamos

poner mayor cuidado en la toma de mediciones y cuñas dadas en terreno, para ello debemos realizar esta tarea con personal responsable y confiable.

- ✓ Finalmente, tenemos recomendaciones que casas clasificadoras hacen para un correcto procedimiento de cálculo de dimensiones de líneas de ejes de embarcaciones en proyecto, ubicación de apoyos para la correcta distribución de carga y las tolerancias admisibles de desgaste que se pueden dar a piezas de dicha línea cuando no es nueva.

## RECOMENDACIONES

El fundamento expuesto nos con lleva a la realización de una guía para el procedimiento mecánico así como también para el procedimiento láser, tecnología que minimiza la intervención del hombre, que implica disminución de errores, tiempo y dinero, obteniéndose así una precisión mayor, pues todos los datos son procesados por una computadora.

## BIBLIOGRAFIA

- ESPECIFICACION TECNICA TALLER X-37 – ASTILLERO SIMA CHIMBOTE, Procedimiento de Montaje de sistema de propulsión.
- CATERPILLAR MARINE ENGINE, Guide Application and Installation.
- REGLA CLASIFICADORA GERMANISCHER LLOYDS, Sistema de propulsión.

Paginas Solicitadas:

<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/1974/1/3985.pdf>

[http://www.buenamar.com/utilerias/El\\_Mantenimiento\\_Moderno\\_v2010\\_with\\_Text.pdf](http://www.buenamar.com/utilerias/El_Mantenimiento_Moderno_v2010_with_Text.pdf)

<http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfciv645a/doc/bmfciv645a.pdf>

## MONTAJE Y ALINEACIÓN DE MOTORES MARINOS DE PROPULSIÓN

La instalación del motor marino en una embarcación y su alineación con los elementos de propulsión como lo son la transmisión marina y los ejes, son tareas que exigen sumo cuidado. La cooperación entre el fabricante de motores y el astillero garantizará a cada uno de ellos el aprovechamiento de la experiencia y conocimientos del otro. En las páginas siguientes se describen los requerimientos y proceso de montaje de los motores Caterpillar y su alineación al eje de transmisión.

Como fabricantes de motores queremos identificar los requerimientos para el montaje y alineación adecuado a la parte del eje y estructura que va unido al producto Caterpillar. La responsabilidad del montaje total y alineación recae sobre el instalador del equipo.

No trate de hacer la alineación final de los motores de propulsión a menos que se haya cumplido con los requisitos siguientes:

- Todo el lastre permanente debe estar en posición.
- Los tanques de combustibles, agua y lastre provisorio están llenos hasta sus niveles normales de funcionamiento, generalmente de un medio a tres cuartos.
- Toda la maquinaria principal que pese más de 450 kg. está instalada o se ha colocado un peso equivalente en su ubicación correspondiente.

La alineación final debe hacerse inmediatamente antes de las carreras de prueba, en el agua.

## ALINEACIÓN

El factor principal que influye en la alineación de los ejes y cojinetes es la deflexión del casco producida por las variaciones de temperatura, diferentes cargas y lastres, velocidad del casco y mar gruesa. La maquinaria de precisión justifica todo esfuerzo para garantizar su alineación adecuada, pero no debemos asumir que la fundación de la maquinaria es una superficie plana, estacionaria que no sufre deflexiones.

## ALINEACIÓN ENTRE LA LÍNEA DE EJES Y LA TRANSMISIÓN MARINA

La alineación de la línea de ejes con la brida de salida de la transmisión marina debe estar dentro de determinadas tolerancias para obtener una duración satisfactoria de la transmisión marina. El requisito básico es alinear la brida de la transmisión marina a la brida de acoplamiento del eje de la hélice, dentro de determinadas limitaciones de paralelismo y angulares; mientras el eje está pendiendo libre de su punto acostumbrado de montaje en la transmisión marina.

El descentramiento axial ocurre cuando las líneas de centro de la transmisión marina y de las bridas de acoplamiento están descentralizadas. La desalineación angular o de cara ocurre cuando las líneas de centro de la transmisión marina y las bridas de acoplamiento forman un ángulo.

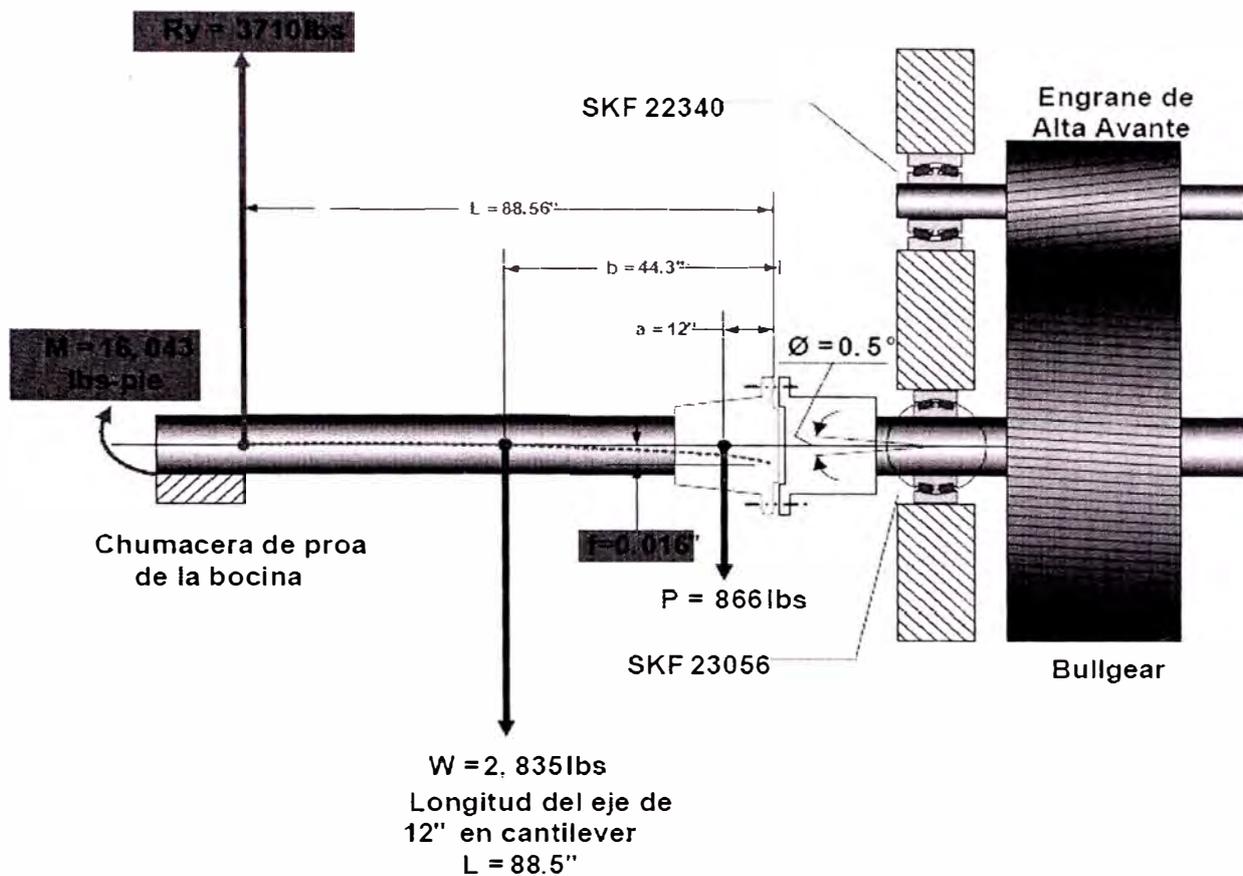


Figura: Verificación del Alineamiento del sistema de ejes con la caja de transmisión.

Las tolerancias para el descentramiento y la desalineación angular relativas a la capacidad de las transmisiones marinas para soportar las tensiones producidas por desalineación son:

**DESCENTRAMIENTO AXIAL;** El ajuste deslizante de las guías de las bridas asegura el centrado.

**ALINEACIÓN ANGULAR;** La diferencia entre las aberturas mayor y menor de las bridas debe ser inferior a  $0,005 \text{ mm}$  por centímetro de diámetro exterior de la brida.

## PROCEDIMIENTO DE ALINEACIÓN

### Bridas

La alineación angular y la concentricidad entre la transmisión marina y su brida y entre el eje de la hélice y su brida no deben exceder de 0,05 mm y deben comprobarse antes de empezar la alineación entre la transmisión marina y el eje de la hélice.

La ubicación del primer cojinete en el eje desde la brida de la transmisión marina es de suma importancia. Para no producir tensiones innecesarias en el cojinete de tope de la transmisión marina, el cojinete del eje de transmisión debe estar colocado por lo menos a 12 veces, y de preferencia 20 o más veces el diámetro del eje, desde la brida de la transmisión marina. Si no se puede evitar colocarlo a lo menos de 12 veces el diámetro del eje, las tolerancias de alineación deben revisarse, disminuirse, en forma apreciable, y debe considerarse el uso de un acoplamiento flexible.

### Acoplamiento Flexible

Cuando la transmisión marina no es de fabricación Caterpillar y no está conectada en forma directa, es necesario instalar un acoplamiento flexible para compensar por las tolerancias de alineación entre el motor y la transmisión marina.

El acoplamiento flexible debe elegirse para que corresponda con la capacidad del motor y de la transmisión marina. La selección del acoplamiento debe verificarse por medio de un análisis torsional del sistema completo en funcionamiento. El motor debe alinearse al equipo accionado para obtener las tolerancias indicadas por el fabricante.

### Eje de Transmisión

Antes de comenzar la alineación, el peso del eje que esté sin soporte se debe apoyar para justificar por la desviación o inclinación del eje de transmisión. La inclinación se debe eliminar para evitar carga innecesaria sobre el cojinete de la transmisión marina.

Un método apropiado para justificar la inclinación del eje de transmisión consiste en utilizar un equipo compuesto por un diámetro, un sensor y un estrobo. Este equipo facilita la elevación del extremo sin apoyo del eje de transmisión, con una fuerza que se puede medir. Otro método similar utiliza el diámetro de comprensión y empujando hacia arriba el extremo del eje.

- Mueva el eje de transmisión hasta situarlo con 13 mm de su posición empernada.
- Determine la mitad del peso suspendido, además de todo el peso de la brida de acoplamiento.
- Al elevar el eje asegúrese que el soporte está directamente encima o debajo de la línea central de la brida de acoplamiento.
- Levante el eje de transmisión hasta que el dinamómetro indique el peso deseado.

Otro método conveniente para corregir la inclinación del eje de transmisión emplea dos indicadores de cuadrante.

- Coloque un indicador en la parte superior o en la parte inferior del eje, en el punto más próximo al cojinete del eje de transmisión.
- Coloque el segundo indicador en la parte superior de la brida de acoplamiento.

- Levante lentamente el eje de transmisión desde el extremo de la brida de acoplamiento hasta que se note un cambio de consideración en la lectura del indicador colocado en el extremo del cojinete de 0,025. 0,038 mm. es suficiente.
- Anote la variación en la lectura del indicador en el extremo de la brida de acoplamiento.
- Baje el eje de transmisión en la mitad de la cantidad de la lectura del indicador en la brida de acoplamiento

Aunque este método no es tan exacto como usando el dinamómetro, es suficiente para un alineación satisfactoria. Con el eje colocado ahora en posición correcta, el motor y la transmisión marina se deben colocar en línea con el eje de transmisión.

Mueva el motor y la transmisión marina a su posición final aproximada, dentro de 8 mm. de la brida de acoplamiento sin hacer entrar la guía de la brida.

#### **a) Centrado**

Mida el descentramiento en cuatro puntos igualmente espaciados en los diámetros de las bridas marcadas A, B, C y D. Haga los ajustes de posición necesarios con los tomillos niveladores del motor para centrar la brida de la transmisión marina dentro de 0,05 mm. Cuando se haya conseguido esto, se hace entrar la guía en su alojamiento trayendo el eje de la hélice y la brida de acoplamiento hacia adelante hasta que las bridas estén separadas 4,5 mm. +- la alineación angular en todo el rededor de las bridas.

**b) Alineación angular.**

Ahora se pueden hacer ajustes necesarios de la alineación angular del motor y transmisión marina con el eje de transmisión. Usando un calibrador de espesores o un calibrador para agujeros pequeños, se toman las medidas de separación de las caras de las bridas en cuatro puntos diferentes, espaciados por igual en sus diámetros, marcados A, B, C y D. A continuación se tabulan las lecturas de la separación de las caras. Se comparan diametralmente las lecturas de la separación de la cara opuesta de A a C y B a D. Se resta la lectura menor de la mayor diametralmente opuesta.

Ejemplo: si A es 0,175" y C es igual a 0,165", se resta 0,165" de 0,175" y tendremos un resultado de 0,010". La diferencia resultante es proporcional a la cantidad de desalineación angular.

Al mover el motor para hacer el ajuste de la alineación angular se debe comprobar que no se altera el centrado con el eje de transmisión. Compruebe todas las lecturas de alineaciones, inserte los pernos en las bridas, y prepare los soportes del motor para la sujeción final a la estructura de la embarcación.





## Section 9c

### Propulsion System

#### A. Main Shafting

##### 1. General

###### 1.1 Scope

The following requirements apply to standard and established types of shafting for main and auxiliary propulsion. Deviating designs require GL's special approval.

In the case of fishing vessels with ice classes, the strengthening factors given in E. are to be complied with. GL reserve the right to call for propeller shaft dimensions in excess of those specified in this Section if the propeller arrangement results in increased bending stresses.

###### 1.2 Documents for approval

General drawings of the entire shafting, from the main engine coupling flange to the propeller, and detail drawings of the shafts, couplings and other component parts transmitting the propelling engine torque, in addition detail drawings and the arrangement of the stern tube seals and the cast resin mount for the stern tubes and shaft bearings are to be submitted to GL in triplicate for approval.

For the arrangement of the shaft bearings an alignment calculation, including alignment instructions, has to be submitted for approval. With consent of GL for shaftings with intermediate shafts  $d < 200$  mm the alignment calculation may be waived.

The submitted documentation must contain all the data necessary to enable the stresses to be evaluated.

#### 2. Materials

##### 2.1 Approved materials

Propeller, intermediate and thrust shafts together with flange and clamp couplings are to be made of forged steel; where appropriate, couplings shall be made of cast steel. Rolled round steel may be used for plain, flangeless shafts.

In general, the tensile strength of steels used for shafting (shafts, flange couplings, bolts/fitted bolts) shall be between  $400 \text{ N/mm}^2$  and  $800 \text{ N/mm}^2$ . However, the value of  $R_m$  used for the calculation of the material factor  $C_w$  in accordance with formula (2) for propeller shafts shall not be greater than  $600 \text{ N/mm}^2$ . Where in special cases wrought copper alloys resistant to seawater are to be used for the shafting, the consent of GL shall be obtained.

##### 2.2 Testing of materials

All component parts of the shafting which assist in transmitting the torque from the vessel's propulsion plant are subject to the GL Rules II – Materials and Welding and are to be tested. This requirement also covers metal propeller shaft liners. Where propeller shafts running in seawater are protected against seawater penetration not by a metal liner but by plastic coatings, the coating technique used is to be approved by GL.

For fishing vessels with  $L < 24$  m Inspection Certificates 3.1B according to EN 10204 : 1995 can be accepted.

#### 3. Shaft dimensions

##### 3.1 General

All parts of the shafting are to be dimensioned in accordance with the following formulae and in compliance with the requirements relating to torsional vibrations set out in F. The dimensions of the shafting shall be based on the total rated installed power. Where the geometry of a part is such that it cannot be dimensioned in accordance with these formulae, special evidence of the mechanical strength of the part or parts concerned is to be furnished to GL.

##### 3.2 Minimum shaft diameter

**3.2.1** For fishing vessels with  $L < 24$  m and fishing along the coast line at a distance not exceeding 20 nautical miles from main land or off-shore islands the minimum shaft diameter is to be determined by the following formula:

$$d_a \geq d \geq k \cdot C \sqrt[3]{\frac{P_w}{n}} \quad [\text{mm}] \quad (1a)$$

$d_a$  = actual outer shaft diameter [mm]

$d$  = required outside diameter of shaft [mm]

$P_w$  = rated power of propulsion motor [kW]

$n$  = shaft speed [ $\text{min}^{-1}$ ]

$k$  = 90 for shafts of corrosion-resistant steel, wrought copper alloys, nickel alloys or non-corrosion resistant steel if the shaft is protected against contact with seawater

= 75 for shafts of high tensile wrought nickel alloys<sup>1</sup>

<sup>1</sup> e.g. "Monal alloy K-500". tensile strength  $> 800 \text{ N/mm}^2$

- C = 1,06 for vessels with one propulsion line  
= 1,0 for vessels with two propulsion lines

3.2.2 For all other fishing vessels the minimum shaft diameter is to be determined by applying formula (1b):

$$d_a \geq d \geq F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P_w}{n \cdot \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a}\right)^4\right]} \cdot C_w} \quad (1)$$

$d_i$  = diameter of shaft bore, where present [mm]  
If the bore in the shaft is  $= 0,4 \cdot d$ , 1,0 may be applied for the expression:

$$= 1 - (d_i / d_a)^4$$

F = factor for the type of propulsion installation [-]

- a) Intermediate and thrust shafts  
= 95  
for engine installations with slip couplings and electric propulsion installations  
= 100  
for all other propulsion installations
- b) Propeller shafts  
= 100  
for all types of installations

$C_w$  = material factor [-]  
=  $560 / (R_m + 160)$  (2)

$R_m$  = tensile strength of the shaft material (see also 2.1) [N/mm<sup>2</sup>]

- k = factor for the type of shaft [-]
- = 1,0 for intermediate shafts with integral forged coupling flanges or with shrink-fitted keyless coupling flanges
  - = 1,10 for intermediate shafts where the coupling flanges are mounted on the ends of the shaft with the aid of keys. At a distance of at least  $0,2 \cdot d$  from the end of the keyway, such shafts can be reduced to a diameter corresponding to  $k = 1,0$
  - = 1,10 for intermediate shafts with radial holes which diameter is not greater than  $0,3 \cdot d$
  - = 1,10 for thrust shafts near the plain bearings on both sides of the thrust collar, or near the axial bearings where a roller bearing design is used
  - = 1,15 for intermediate shafts designed as multi-splined shafts where  $d$  is the outside diameter of the splined shaft. Outside the splined section, the shafts can be reduced to a diameter corresponding to  $k = 1,0$

= 1,20 for intermediate shafts with longitudinal slots where the length and width of the slot do not exceed  $1,17 \cdot d$  and  $0,25 \cdot d$  respectively.

= 1,22 for propeller shafts in the area of the aft stern tube or shaft bracket bearing to the forward face of the propeller boss subject to a minimum of  $2,5 \cdot d$ , if the propeller is shrink-fitted, without key, on to the tapered end of the propeller shaft using a method approved by GL, or if the propeller is bolted to a flange forged on the propeller shaft.

= 1,26 for propeller shafts in the area specified for  $k = 1,22$ , if the propeller is keyed to the tapered propeller shaft

= 1,40 for propeller shafts in the area specified for  $k = 1,22$ , if the shaft inside the stern tube is lubricated with grease.

= 1,15 for propeller shafts forward portion of shafts to where they emerge from the stern tube. The portion of the propeller shaft located forward of the stern tube seal can be gradually reduced to the size of the intermediate shaft.

## 4. Design

### 4.1 General

Changes in diameter are to be effected by tapering or ample radiusing. For intermediate shafts, the radius at forged flanges is to be at least  $0,08 \cdot d$ , that at the aft propeller shaft flange at least  $0,125 \cdot d$ .

### 4.2 Shaft tapers and nut threads

Keyways in the shaft taper for the propeller shall be so designed that the forward end of the groove makes a gradual transition to the full shaft section. In addition, the forward end of the keyway shall be spoon-shaped. The edges of the keyway at the surface of the shaft taper for the propeller are not to be sharp. The forward end of the rounded keyway has to lie well within the seating of the propeller boss. Threaded holes to accommodate the securing screws for propeller keys shall be located only in the aft half of the keyway. see Fig. 9c.1.

In general, tapers for securing flange couplings which are jointed with keys shall have a conicity of between 1 : 12 and 1 : 20. See C. for details of propeller shaft tapers on the propeller side.

The outside diameter of the threaded end for the propeller retaining nut shall not be less than 60 % of the calculated big taper diameter.

### 4.3 Propeller shaft protection

#### 4.3.1 Sealing

Propeller shafts with oil or grease lubrication are to be fitted with seals of proven efficiency and approved by

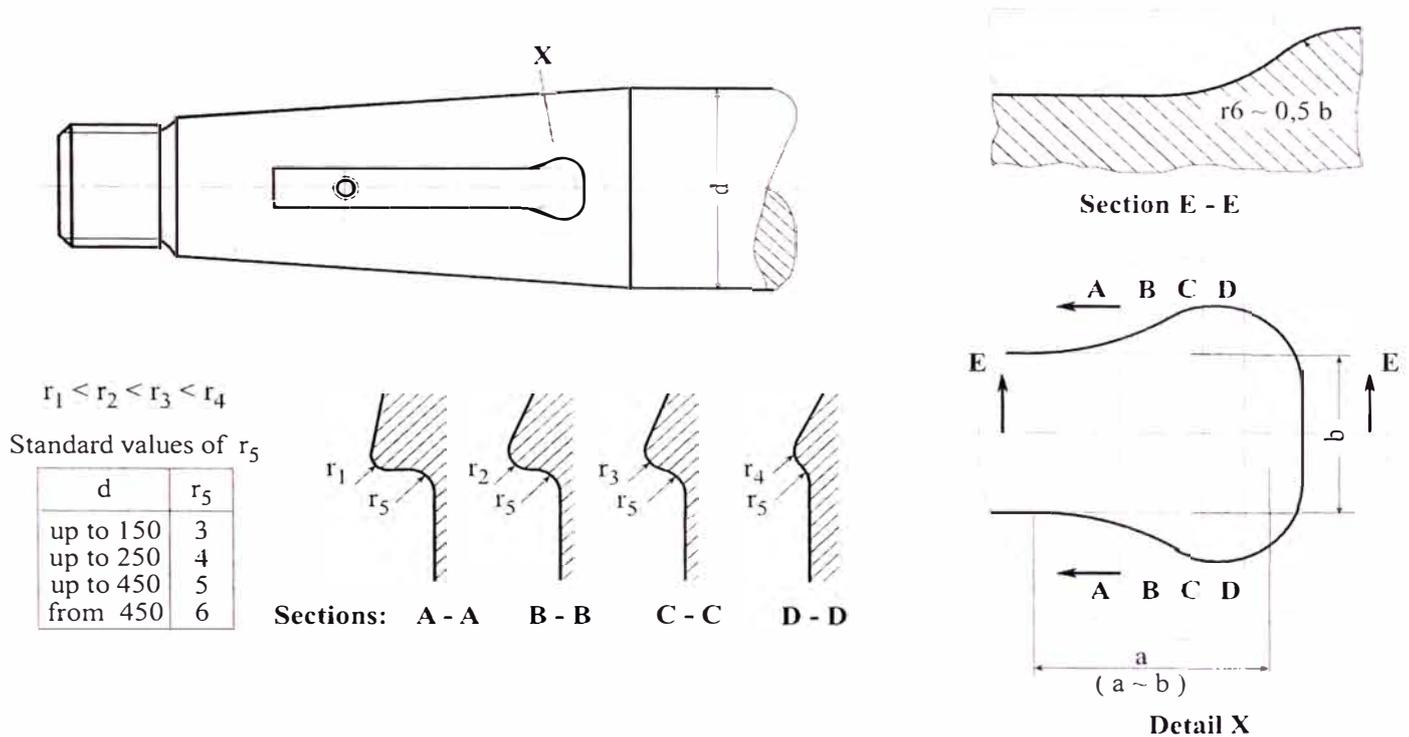


Fig. 9c.1 Design of keyway in propeller shaft

GL at the stern tube ends, see also the requirements applicable to the external sealing of the stern tube in the context with the propeller shaft survey prescribed in the GL Rules Part 0 – Classification and Surveys, Section 3.

The securing at stern tube, shaft line or propeller (e.g. chrome steel liner) shall guarantee a permanent tightness. GL reserve the right to demand corresponding verifications.

For protection of the sealing a rope guard shall be provided.

The propeller boss seating is to be effectively protected against the ingress of seawater. This seal can be dispensed with if the propeller shaft is made of corrosion-resistant material.

In the case of Class Notation **IW**, the seal shall be fitted with a device by means of which the bearing clearance can be measured when the vessel is afloat.

### 4.3.2 Shaft liners

**4.3.2.1** Propeller shafts which are not made of corrosion-resistant material and which run in seawater are to be protected against ingress of seawater by seawater-resistant metal liners or other liners approved by GL and by proven seals at the propeller.

**4.3.2.2** Metal liners in accordance with 4.3.2.1, which run in seawater, shall be made in a single piece. Only with the expressed consent of GL and in exceptional cases the liner may consist of two or more parts, provided that the abutting edges of the parts are additionally sealed and protected after fitting by a method

approved by GL to guarantee water-tightness. Such joints will be subject to special tests to prove their effectiveness.

### 4.3.2.3 Minimum wall thickness of shaft liners

The minimum wall thickness  $s$  [mm] of metal shaft liners in accordance with 4.3.2.1 is to be determined using the following formula:

$$s = 0,03 \cdot d + 7,5 \quad (3)$$

$d$  = shaft diameter under the liner [mm]

In the case of continuous liners, the wall thickness between the bearings may be reduced to  $0,75 \cdot s$ .

## 4.4 Coupling connection

**4.4.1** The thickness of coupling flanges on the intermediate and thrust shafts and on the forward end of the propeller shaft shall be equal to at least 20 % of the calculated minimum diameter of a solid shaft at the relevant location.

Where propellers are attached to a forged flange on the propeller shaft, the flange has to have a thickness equal to at least 25 % of the calculated minimum diameter of a solid shaft at the relevant location.

These flanges shall not be thinner than the Rule diameter of the fitted bolts if these are based on the same tensile strength as that of the shaft material.

In the formulae (4), (5), (6) and (7), the following symbols are used:

$A$  = effective area of shrink-fit seating [mm<sup>2</sup>]

- $c_A$  = coefficient for shrink-fitted joints [-], depending on the kind of driving unit  
 = 1,0 for geared diesel engine and turbine drives  
 = 1,2 for direct coupled diesel engine drives
- $C$  = conicity of shaft ends [-]  
 = difference in tapers diameters/length of tapers
- $d$  = shaft diameter in area of clamp-type coupling [mm]
- $d_s$  = diameters of fitted bolts [mm]
- $d_k$  = inner throat diameter for necked-down bolts [mm]
- $D$  = diameter of pitch circle of bolts [mm]
- $f$  = coefficient for shrink-fitted joints [-]
- $Q$  = peripheral force at the mean joint diameter of a shrink fit [N]
- $n$  = shaft speed [ $\text{min}^{-1}$ ]
- $p$  = contact pressure of shrink fits [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
- $P_w$  = rated power of the driving motors [kW]
- $R_m$  = tensile strength of fitted or necked-down bolt material [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]
- $s_{\theta}$  = flange thickness in area of bolt pitch circle [mm]
- $S$  = safety factor against slipping of shrink fits in the shafting [-]  
 = 3,0 between motor and gear  
 = 2,5 for all other applications
- $T$  = propeller thrust [N]
- $z$  = number of fitted or necked-down bolts [-]
- $\mu_0$  = coefficient of static friction [-]  
 = 0,15 for hydraulic shrink fits  
 = 0,18 for dry shrink fits
- $\Theta$  = half conicity of shaft ends [-]  
 =  $C/2$

**4.4.2** The bolts used to connect flange couplings are normally to be designed as fitted bolts. The minimum diameter  $d_s$  of fitted bolts at the coupling flange faces is to be determined by applying the formula:

$$d_s = 16 \cdot \sqrt{\frac{10^6 \cdot P_w}{n \cdot D \cdot z \cdot R_m}} \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

**4.4.3** Where, in special circumstances, the use of fitted bolts is not feasible, GL may agree to the use of an equivalent frictional transmission.

**4.4.4** The minimum thread root diameter  $d_k$  of the connecting bolts used for clamp-type couplings is to be determined using the formula:

$$d_k = 12 \cdot \sqrt{\frac{10^6 \cdot P_w}{n \cdot d \cdot z \cdot R_m}} \quad [\text{mm}] \quad (5)$$

**4.4.5** The shaft of necked-down bolts shall not be less than 0,9 times the thread root diameter. If, besides the torque, the bolted connection has to transmit considerable additional forces, the bolts shall be increased accordingly.

#### 4.4.6 Shrink fitted couplings

Where shafts are connected by keyless shrink fitted couplings (flange or sleeve type), the dimensioning of these shrink fits shall be chosen in a way that the maximum von Mises equivalent stress in all parts will not exceed 80 % of the yield strength of the specific materials during operation and 95 % during mounting and dismounting.

For the calculation of the safety margin of the connection against slippage, the maximum clearance will be applied, derived as the difference between the lowest respectively highest still acceptable limit of the applied nominal tolerance field for the bore and the shaft. The contact pressure  $p$  in the shrunk-on joint to achieve the required safety margin may be determined by applying formulae (6) and (7).

$$p = \frac{\sqrt{\Theta^2 \cdot T^2 + f \cdot (c_A^2 \cdot Q^2 + T^2)} \pm \Theta \cdot T}{A \cdot f} \quad [\text{N}/\text{mm}^2] \quad (6)$$

"+" sign following the root applies to conical shrunk joints without an axial stop to absorb astern thrust

"-" sign following the root if the conical shrunk joint has an axial stop to absorb astern thrust

$$f = \left( \frac{\mu_0}{S} \right)^2 - \Theta^2 \quad [-] \quad (7)$$

#### 4.5 Shafting bearings

##### 4.5.1 Arrangement of shaft bearings

Shaft bearings both inside and outside the stern tube are to be so arranged that, when the plant is hot and irrespective of the condition of loading of the vessel, each bearing is subjected to positive reaction forces.

By appropriate spacing of the bearings and by the alignment of the shafting in relation to the coupling flange at the engine or gearing, care is to be taken to ensure that no undue shear forces or bending moments are exerted on the crankshaft or gear shafts when the plant is at operating state temperature. By spacing the bearings sufficiently far apart, steps are also to be taken to ensure that the reaction forces of line or gear shaft bearings are not significantly affected should the alignment of one or more bearings be altered by hull deflections or by displacement or wear of the bearings themselves.

Guide values for the maximum permissible distance between bearings  $l_{\text{max}}$  [mm] can be determined using formula (8):

$$l_{\text{max}} = K_1 \cdot \sqrt{d} \quad (8)$$

- $d$  = diameter of shaft between bearings [mm]  
 $K_1$  = 450 for oil-lubricated white metal bearings  
 = 280 for grey cast iron, grease-lubricated stern tube bearings  
 = 280 – 350 for water-lubricated rubber bearings in stern tubes and shaft brackets (upper values for special designs only)

Where the shaft speed exceeds  $350 \text{ min}^{-1}$  it is recommended that the maximum bearing spacing is determined in accordance with formula (9) in order to avoid excessive loads due to bending vibrations. In limiting cases a bending vibration analysis should be made for the shafting system.

$$l_{\text{max}} = K_2 \cdot \sqrt{\frac{d}{n}} \quad (9)$$

- $n$  = shaft speed [ $\text{min}^{-1}$ ]  
 $K_2$  = 8500 for oil-lubricated white metal bearings  
 = 7500 for water lubricated rubber bearings  
 = 5200 for grease-lubricated, grey cast iron bearings

#### 4.5.2 Stern tube bearings

**4.5.2.1** Inside the stern tube the propeller shaft shall normally be supported by two bearing points. In short stern tubes the forward bearing may be dispensed with, in which case at least one free-standing journal shaft bearing should be provided.

**4.5.2.2** Where the propeller shaft inside the stern tube runs in oil-lubricated white metal bearings or in synthetic rubber or reinforced resin or plastic materials approved for use in oil-lubricated stern tube bearings, the lengths of the after and forward stern tube bearings shall be approximately  $2 \cdot d_a$  and  $0,8 \cdot d_a$  respectively.

The length of the after stern tube bearing may be reduced to  $1,5 \cdot d_a$  where the contact load, which is calculated from the static load and allowing for the weight of the propeller is less than 0,8 MPa in the case

of shafts supported on white metal bearings and less than 0,6 MPa in the case of bearings made of synthetic materials.

**4.5.2.3** Where the propeller shaft inside the stern tube runs in bearings made of lignum vitae, rubber or plastic approved for use in water-lubricated stern tube bearings, the length of the after stern tube bearing shall be approximately  $4 \cdot d_a$  and that of the forward stern tube bearing approximately  $1,5 \cdot d_a$ .

A reduction of the bearing length may be approved if the bearing is shown by means of bench tests to have sufficient load-bearing capacity.

**4.5.2.4** Where the propeller shaft runs in grease-lubricated, grey cast iron bushes the lengths of the after and forward stern tube bearings should be approximately  $2,5 \cdot d_a$  and  $1,0 \cdot d_a$  respectively.

The peripheral speed of propeller shafts in grease-lubricated grey cast iron bearings shall not exceed 2,5 up to a maximum of 3 m/s and that of propeller shafts in rubber and water-lubricated lignum vitae bearings shall not exceed 6 m/s and 3 up to a maximum of 4 m/s respectively.

**4.5.2.5** Where propeller shafts are to run in roller bearings inside the stern tube, these should wherever possible take the form of cylindrical roller bearings with cambered rollers or races and with increased bearing clearance. The camber must be large enough to accommodate a 0,1 % inclination of the shaft relative to the bearing axis without adverse effects.

For application of roller bearings care must be taken that the minimum load requirements as specified by the manufacturer are fulfilled (axial adjustment recommended).

#### 4.5.3 Bearing lubrication

**4.5.3.1** Lubrication and matching of materials of the plain and roller bearings for the shafting have to meet the operational demands of seagoing vessels.

**4.5.3.2** Lubricating oil or grease shall be introduced into the stern tube in such a way as to ensure a reliable supply of oil or grease to the forward and after stern tube bearing.

With grease lubrication, the forward and after bearings are each to be provided with a grease connection. Wherever possible, a grease pump driven by the shaft is to be used to secure a continuous supply of grease.

Where the shaft runs in oil within the stern tube, a header tank is to be fitted at a sufficient height above the vessel's load line. Facilities are to be provided for checking the level of oil in the tank at any time.

The temperature of the after stern tube bearing is to be indicated. Alternatively, with propeller shafts less than 400 mm in diameter the stern tube oil temperature may be indicated. In this case the temperature sensor is to be located in the vicinity of the after stern tube bearing.

**4.5.3.3** In the case of vessels with automated machinery, Section 12 has to be complied with.

#### **4.5.4 Stern tube water-lubricated connections**

Oil-lubricated stern tubes are to be fitted with filling, testing and drainage connections as well as with a vent pipe.

Where the propeller shaft runs in seawater, a flushing line is to be fitted in front of the forward stern tube bearing in place of the filling connection.

#### **4.5.5 Cast resin mounting**

The mounting of stern tubes and stern tube bearings made of cast resin and also the seating of intermediate shaft bearings on cast resin parts is to be carried out by GL-approved companies in the presence of a GL Surveyor. Only GL-approved cast resins may be used for seatings. Note is to be taken of the installation instructions issued by the manufacturer of the cast resin.

For further details see the GL Rules VI – Additional Rules and Guidelines, Part 4 – Diesel Engines, Chapter 3 – Guidelines for the Seating of Propulsion Plants and Auxiliary Machinery and Part 9 – Materials and Welding, Chapter 5 – Guidelines for the Approval of Reaction Plastics and Composite Materials for the Seating and Repair of Components.

#### **4.5.6 Shaft alignment**

It has to be verified by alignment calculation that the requirements for shaft-, gearbox- and engine bearings are fulfilled in all relevant working conditions. Therefore all essential static, dynamic and thermal effects have to be taken into account.

The submitted calculation reports shall include the complete scope of used input data and has to disclose the resulting shaft deflection, bending stress and bearing loads and the compliance with the specific maker requirements.

An instruction for the alignment procedure has to be issued describing the execution on board and listing the permissible gap and sag values for open flange connections or jack-up loads for bearings.

The final alignment on board has to be checked by suitable measurement methods in afloat condition in presence of the GL Surveyor.

### **5. Pressure Tests**

#### **5.1 Shaft liners**

Prior to fitting in the finish-machined condition, shaft liners are to be subjected to a hydraulic tightness test at 2 bar pressure.

#### **5.2 Stern tubes**

Prior to fitting in the finish-machined condition, cast stern tubes and cast stern tube parts are to be subjected to a hydraulic tightness test at 2 bar pressure. A further tightness test is to be carried out after fitting.

For stern tubes fabricated from welded steel plates, it is sufficient to test for tightness during the pressure tests applied to the hull spaces passed by the stern tube.

### **B. Gears, Couplings**

#### **1. General**

##### **1.1 Scope**

**1.1.1** These requirements apply to spur, planetary and bevel gears and to all types of couplings for incorporation in the main propulsion plant or essential equipment as specified in Section 9a, H. The design requirements laid down here may also be applied to the gears and couplings of equipment other than that mentioned in Section 9a, H., if equivalent evidence of mechanical strength is not available.

**1.1.2** Application of these requirements to the auxiliary machinery couplings mentioned in 1.1.1 may generally be limited to a basic design approval by GL of the particular coupling type. Regarding the design of elastic couplings for use in generator sets, reference is made to 7.2.6.

**1.1.3** For the dimensional design of gears and couplings for vessels with ice class, see E.

##### **1.2 Documents for approval**

Assembly and sectional drawings together with the necessary detail drawings and parts lists are to be submitted to GL in triplicate for approval. They shall contain all the data necessary to enable the load calculations to be checked.

### **2. Materials**

#### **2.1 Approved materials**

**2.1.1** Shafts, pinions, wheels and wheel rims of gears in the main propulsion plant shall preferably be made of forged steel. Rolled steel bar may also be used for plain, flangeless shafts. Gear wheel bodies may be made of grey cast iron<sup>2</sup> or nodular cast iron or may be fabricated from welded steel plate with steel or cast steel hubs.

**2.1.2** Couplings in the main propulsion plant shall be made of steel, cast steel or nodular cast iron with a mostly ferritic matrix. Grey cast iron or suitable cast aluminium alloys may also be permitted for lightly stressed external components of couplings and the rotors and casings of hydraulic slip couplings.

**2.1.3** The gears of essential equipment according to Section 9a, H. are subject to the same requirements as

<sup>2</sup> The peripheral speed of cast iron gear wheels shall generally not exceed 60 m/s, that of cast iron coupling clamps or bowls, 40 m/s.

those specified in 2.1.1 as regards the materials used. For gears intended for equipment other than that mentioned in Section 9a, H. other materials may also be permitted.

**2.1.4** Flexible coupling bodies for essential auxiliary machinery according to Section 9a, H. may generally be made of grey cast iron, and for the outer coupling bodies a suitable aluminium alloy may also be used. However, for generator sets use shall only be made of coupling bodies preferably made of nodular cast iron with a mostly ferritic matrix, of steel or of cast steel, to ensure that the couplings are well able to withstand the shock torques occasioned by short circuits. GL reserve the right to impose similar requirements on the couplings of particular auxiliary drive units.

## 2.2 Testing of materials

All gear and coupling components which are involved in the transmission of torque and which are intended for the main propulsion plant have to be tested in accordance with the GL Rules II – Materials and Welding, Part 1 – Metallic Materials. The same applies to the materials used for gear components with major torque transmission function and couplings in generator drives.

For fishing vessels with  $L < 24$  m Inspection Certificates 3.1 B according to EN 10204 : 1995 can be accepted.

Suitable documentation is to be submitted for the materials used for the major components of the couplings and gears of all other functionally essential equipment in accordance with Section 9a, H. This documentation may be a GL Material Test Certificate or an acceptance test Certificate of the steelmaker.

## 3. Calculation of the load-bearing capacity of cylindrical and bevel gearing

For gears in main propulsion plants and for dynamically and statically loaded gears of essential equipment sufficient load bearing capacity of the toothing has to be proven according to Chapter 2 – Machinery Installations, Section 5, C. But for fishing vessels with  $L < 24$  m, the following minimum safety margins for flank and root bending stress may be used:

$$S_H = 1,3 \quad S_F = 1,8 \quad \text{for vessels with one propulsion line}$$

$$S_H = 1,2 \quad S_F = 1,55 \quad \text{for vessels with two propulsion lines}$$

## 4. Gear shafts

### 4.1 Minimum diameter

The dimensions of shafts of reversing and reduction gears are to be calculated by applying the following formula:

$$d_a \geq d \geq F \cdot k \cdot \sqrt[3]{\frac{P}{n \cdot \left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a}\right)^4\right]}} \cdot C_w$$

for  $\frac{d_i}{d_a} \leq 0,4$  the expression

$$\left[1 - \left(\frac{d_i}{d_a}\right)^4\right] \quad \text{may be set to } 1,0.$$

$d$  = required outside diameter of shaft [mm]

$d_i$  = diameter of shaft bore, if applicable [mm]

$d_a$  = actual shaft diameter [mm]

$P$  = driving power of shaft [kW]

$n$  = shaft speed [ $\text{min}^{-1}$ ]

$F$  = factor for the type of drive [-]

= 95 for turbine plants, electrical drives and internal combustion engines with slip couplings

= 100 for all other types of drive. GL reserve the right to specify higher  $F$  values if this appears necessary in view of the loading of the plant.

$C_w$  = material factor [-]

$$= \frac{560}{R_m + 160}$$

$R_m$  = tensile strength of the shaft material [ $\text{N}/\text{mm}^2$ ]

However, for wheel shafts the value applied for  $R_m$  in the formula shall not be higher than  $800 \text{ N}/\text{mm}^2$ . For pinion shafts the actual tensile strength value may be applied.

$k$  = 1,10 for gear shafts [-]

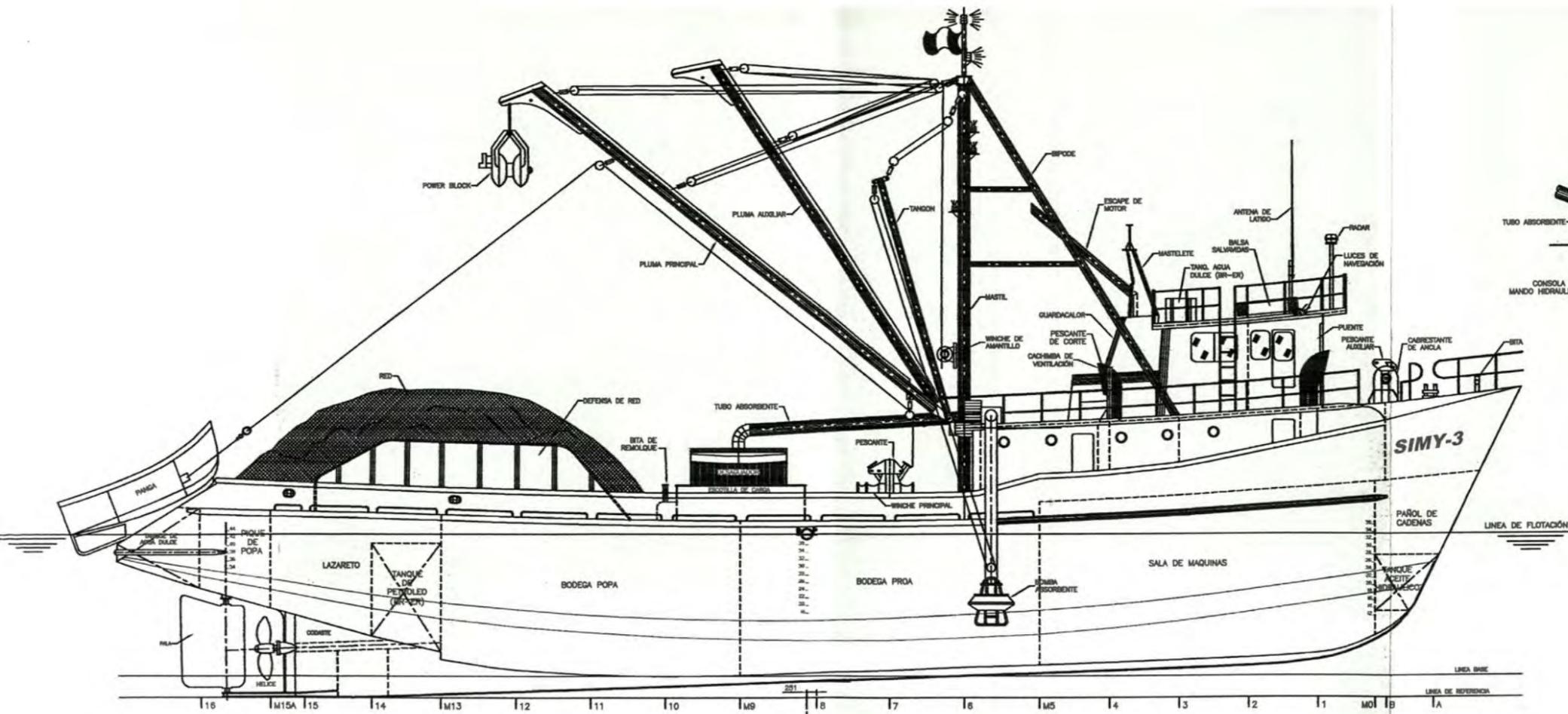
= 1,15 for gear shafts in the area of the pinion or wheel body if this is keyed to the shaft and for multiple-spline shafts.

Higher values of  $k$  may be specified by GL where increased bending stresses in the shaft are liable to occur because of the bearing arrangement, the casing design, the tooth pressure, etc.

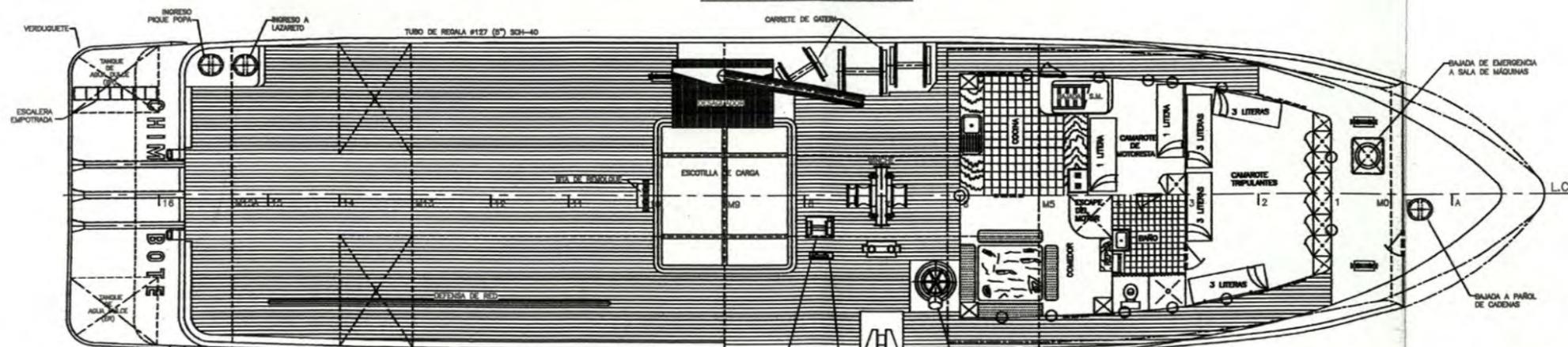
## 5. Equipment

### 5.1 Oil level indicator

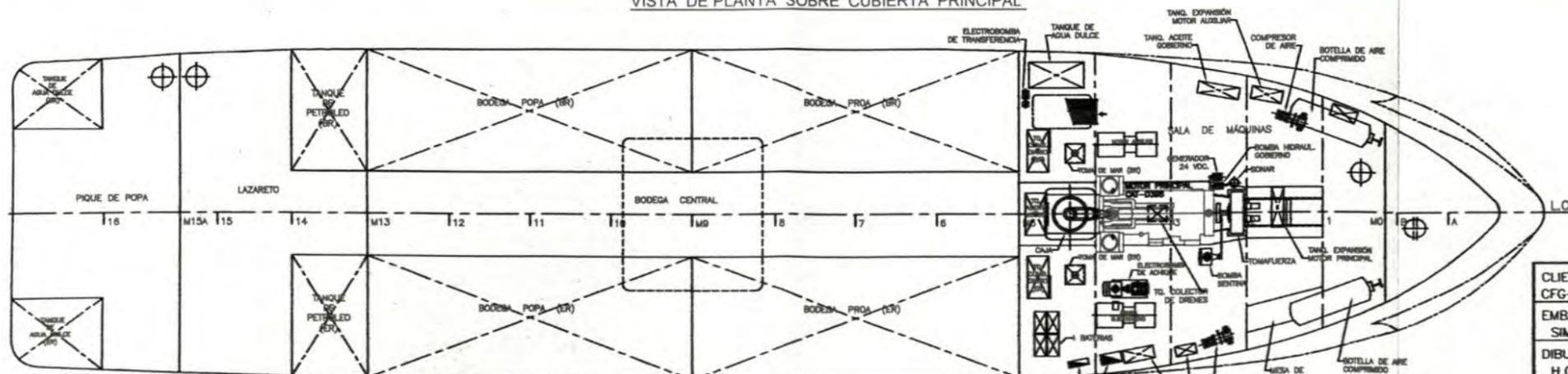
For monitoring the lubricating oil level in main and auxiliary gears, equipment shall be fitted to enable the oil level to be determined.



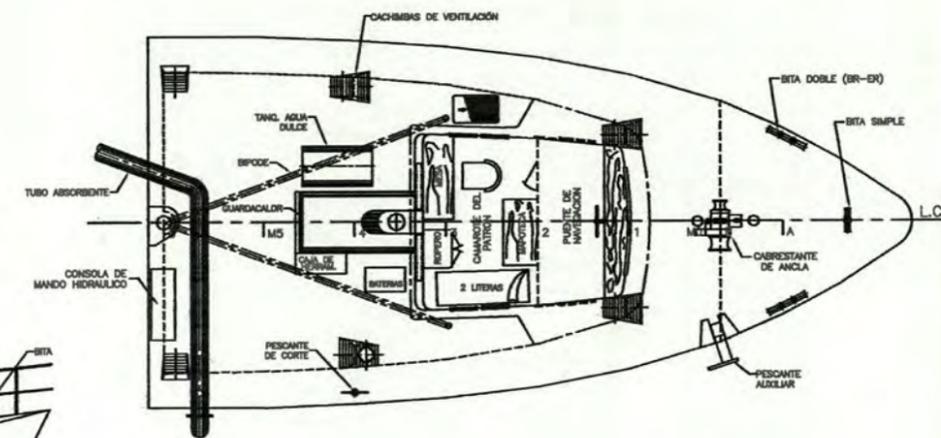
ELEVACIÓN LONGITUDINAL



VISTA DE PLANTA SOBRE CUBIERTA PRINCIPAL



VISTA DE PLANTA BAJO CUBIERTA PRINCIPAL



PLANTA SOBRE CUBIERTA DEL CASTILLO

CARACTERISTICAS GENERALES

ESLORA TOTAL	-----	37,11 m.
MANGA MOLDEADA	-----	7,92 m.
PUNTA MOLDEADO	-----	3,84 m.
CAPACIDAD DE COMBUSTIBLE	-----	5814 US GL.
CAPACIDAD DE AGUA DULCE	-----	2750 US GL.
CAPAC. ACEITE HIDRAULICO	-----	400 US GL.
CAPACIDAD DE BODEGAS	-----	377,84 m <sup>3</sup>
MOTOR PRINCIPAL	-----	CAT. D-398
DOTACIÓN	-----	15+EL PATRON

CLIENTE:  
CFG-INVESTMENT-S.A.C.

EMBARCACION:  
SIMY-3

DIBUJADO :  
H.C.M.

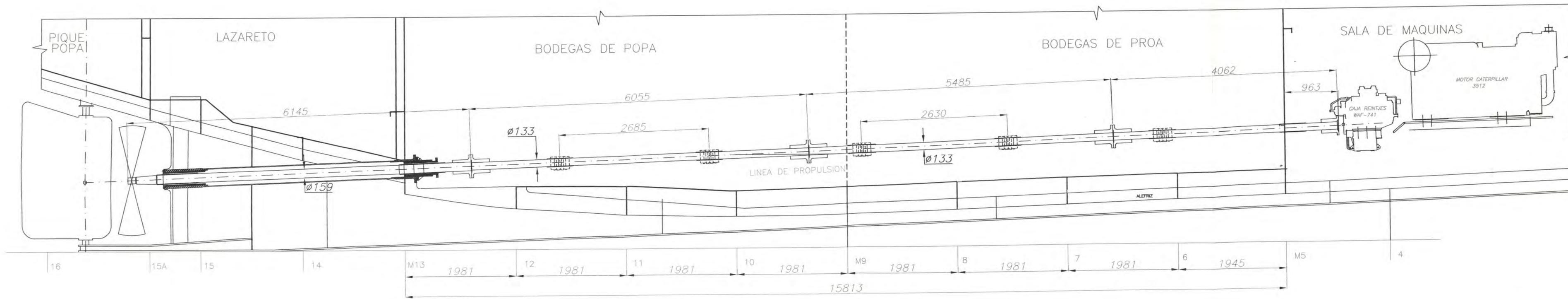
REVISADO :  
H.CUELLAR

APROBADO :  
H.CUELLAR

DISPOSICION GENERAL

(EMBARCACION-CON-SALA-DE-MAQUINAS-PROA)

REFERENCIA: ASTILLERO-SIMA-CHIMBOTE-2009	HOJA: DE: 1 1	REV: 0
FECHA : FEB-2009	ESCALA : 1:75	U.M. MM
DRAWING: DGSIMY3		



VISTA DE ELEVACION

INFORMACIÓN TÉCNICA:

- DATOS DEL MOTOR:
  - MARCA : CATERPILLAR
  - POTENCIA : 3512
  - MODELO : 1207 HP @ 1200 RPM
- DATOS DE LA CAJA REDUCTORA:
  - MARCA : REINTJES
  - MODELO : WAF-743
  - RATIO : 3.98 : 1
- EJES PROTEGIDOS EN LAS ZONAS EXPUESTAS A CONTACTO CON EL AGUA DE MAR CON FORRO DE TELA DE FIBRA DE VIDRIO INPREGNADO CON RESINA POLIESTER.
- DIAMETROS MIINIMOS PARA CUMPLIR NORMAS DE CLASIFICACIÓN:
  - EJE DE COLA : 163.48 mm.
  - EJE INTERMEDIOS : 144.71 mm.
- SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE CHUMACERAS SEGÚN NORMAS DE CLASIFICACIÓN: DISTANCIA MÁXIMA EJES DE COLA 4230 mm.
- BOCINA DE BRONCE GUN METAL PARA LOS APOYOS EN EL EJE.

PROPIEDADES DEL ACERO SAE 1045		PROPIEDADES DEL ACERO SAE 1020	
LIMITE DE FLUENCIA	: 363 N/mm <sup>2</sup>	LIMITE DE FLUENCIA	: 246 N/mm <sup>2</sup>
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	: 638 N/mm <sup>2</sup>	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	: 465 N/mm <sup>2</sup>
ELONGACIÓN	: 15 %	ELONGACIÓN	: 20 %
		REDUCCION DE AREA	: 52 %

CLIENTE: CFG-INVESTMENT-S.A.C.	<b>SISTEMA DE PROPULSION</b> (EMBARCACION-CON-SALA-DE-MAQUINAS-PROA)		
EMBARCACION: SIMY-3			
DIBUJADO : H.C.M.	REFERENCIA: ASTILLERO-SIMA-CHIMBOTE-2009	HOJA: DE: 1 1	REV: 0
REVISADO : H.CUELLAR	FECHA : FEB-2009	ESCALA : 1:75	U.M. MM
APROBADO : H.CUELLAR	DRAWING: DGSIMY3		

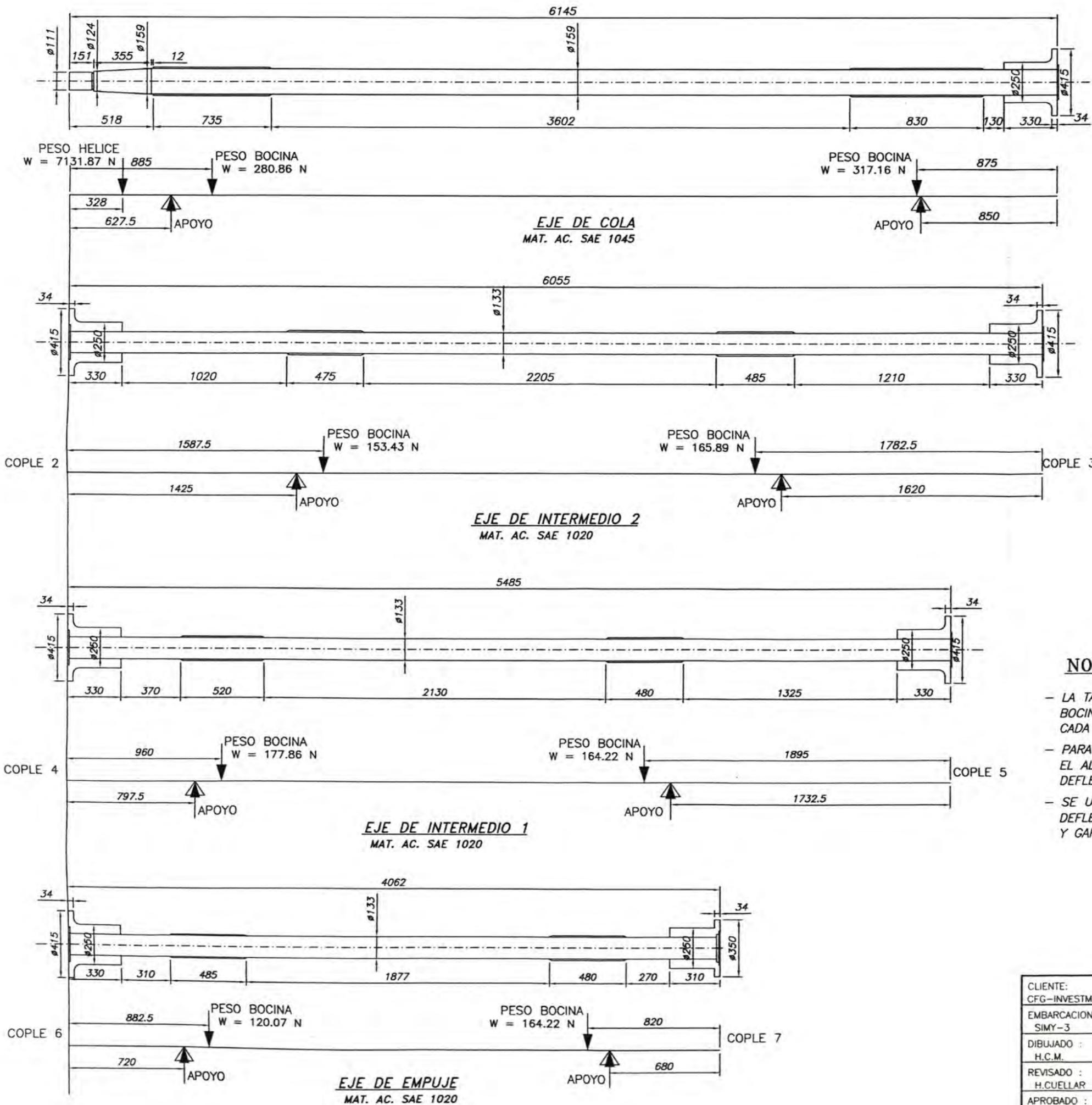


TABLA DE CAIDAS EN COPLES		
	Y	X
COPLE 1	+0.73	0.36
COPLE 2	-1.75	0.51
COPLE 3	-2.32	0.60
COPLE 4	-0.46	0.24
COPLE 5	-2.40	0.57
COPLE 6	-0.12	0.07
COPLE 7	-0.09	0.05
COPLE CAJA	0.00	0.00

TABLA DE CAIDAS SAG - GAP		
COPLES	SAG	GAP
COPLE 1 - COPLE 2	1.75	0.51
COPLE 3 - COPLE 4	1.86	0.36
COPLE 5 - COPLE 6	2.28	0.13
COPLE 7 - COPLE CAJA	0.09	0.05

**NOTA:**

- LA TABLA DE CAIDAS SE TOMO CONSIDERANDO LOS PESOS DE LAS BOCINAS Y TOMANDO COMO PUNTOS DE APOYO LOS EXTREMOS DE CADA DESCANSO EN CADA EJE.
- PARA EL EJE DE COLA SE CONSIDERA EL PESO DE LA HELICE Y EN EL ALINEAMIENTO SE CONSIDERA PUNTO INICIAL ES DECIR LAS DEFLEXIONES SERAN 0.00 mm.
- SE UTILIZO EN SOFTWARE SOLID EDGE PARA EL ANALISIS DE LAS DEFLEXIONES Y LA PROYECCION DE ESTAS PARA ENCONTRAR LOS SAG Y GAP ENTRE COPLES DE AMARRE.

CLIENTE: CFG-INVESTMENT-S.A.C.	<b>ANALISIS DE DEFLEXIONES CALCULO DE SAG Y GAP</b> (EMBARCACION-CON-SALA-DE-MAQUINAS-PROA)		
EMBARCACION: SIMY-3			
DIBUJADO : H.C.M.	REFERENCIA: ASTILLERO-SIMA-CHIMBOTE-2009	HOJA: DE: 1 1	REV: 0
REVISADO : H.CUELLAR	FECHA : FEB-2009	ESCALA : 1:75	U.M. MM
APROBADO : H.CUELLAR	DRAWING: DCSIMY3		