

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería Marítima, Ciencias Biológicas, Oceánicas
y Recursos Naturales**

**“ELABORACIÓN DEL PROCEDIMIENTO TÉCNICO PARA LA REPARACIÓN
DE EJES DE PROPULSIÓN DE BARCOS PESQUEROS”**

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO NAVAL

Presentado por:

Mario Christian García Mero

Guayaquil – Ecuador

2014

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, a mis Padres por la educación que me brindaron y al M.Sc. Patrick Townsend quien me ayudó a la conclusión de mis estudios.

DEDICATORIA

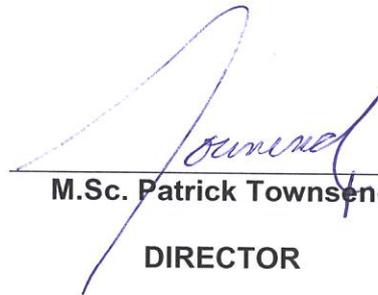
Este trabajo se lo dedico a mi Familia, esposa e hijos, a mis Profesores de la ESPOL, a mis compañeros de trabajo y a los colegas que me apoyaron en mi formación académica.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



M.Sc. Cristóbal Mariscal

PRESIDENTE



M.Sc. Patrick Townsend

DIRECTOR



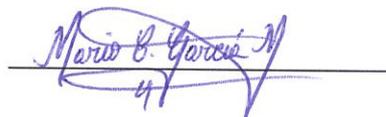
Ing. Bolívar Vaca

MIEMBRO PRINCIPAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)



Mario Christian García Mero

RESUMEN

Los barcos pesqueros, corresponden a una de las más importantes áreas de desarrollo e investigación de la industria naval, porque en la actualidad se construyen embarcaciones más tecnificadas y veloces.

Las condiciones de trabajo de los barcos con caladeros de pesca cada vez más distantes de los puertos, debido a los cambios climáticos y la migración de las especies, hace que los sistemas de propulsión trabajen más forzados.

El propósito de la presente tesis, es el de organizar, clasificar y establecer de forma técnica el procedimiento, basándose en una metodología cualitativa, para la reparación de ejes en los diferentes barcos pesqueros; de tal forma que sirva de guía para los talleres de maestranza y los ingenieros navales dedicados a esta actividad.

Este plan se logra, organizando los tipos de propulsiones existentes, los daños típicos en estos buques y las reparaciones que deben hacerse.

Como algunos buques son clasificados, la formulación técnica de verificación de dimensiones y tolerancias, se ajustará a las reglas de las Sociedades

Clasificadoras y a las diferentes formulaciones aprendidas durante los años de estudio en la ESPOL.

En el último capítulo se establece el procedimiento, así como parámetros y reglas que permitan realizar un buen trabajo durante la reparación. También se muestra las diferentes perspectivas a futuro que salen del trabajo presentado, que sirvan de punto de partida para la realización de otras tesis y que se complementen a esta.

ABREVIATURAS Y SIMBOLOGIA

σ	Resistencia a la tracción mínima del material del eje.
σ_c	Esfuerzo de compresión
A_s	Área en la cara longitudinal superior
b	Ancho de la chaveta.
C_c	Ajuste de calibración.
D	Diámetro del eje de propulsión.
d	Diámetro.
d_c	Diámetro de pernos de acoplamientos.
d_i	Diámetro del agujero central.
d_o	Diámetro exterior.
F	Coeficiente.
h	Altura de la chaveta.
K	Factor.
k_0	Factor de recubrimiento.
k_c	Factor de incertidumbre.
L	Longitud de la chaveta.
l_m	Medida del comparador.
l_o	Medida inicial del comparador.
l_u	Medida final del comparador.

n_b	Número de pernos de acoplamiento.
n_c	Mediciones reiteradas sobre un patrón.
$P (H)$	Poder transmitido.
Q	Coeficiente.
R	Revoluciones por minuto.
R_m	Valor de la resistencia a la tracción del eje.
RPM	Revoluciones por minuto.
s_c	Desviación típica de las medidas de calibración.
s_m	Desviación típica de las medidas.
T	Par a transmitir.
U	Incertidumbre asignable.
U	Incertidumbre asociada (U).
U_c	Incertidumbre expandida de calibración.
U_m	Incertidumbre expandida de medición.
U_o, u_o	Factor de incertidumbre.
X	Valor resultante de la medida.
x'_c	Media aritmética de las medidas de calibración .
x'_m	Media aritmética del proceso de medición .
x_0	Patrón de valor.
x_{ci}	Medidas de calibración.

x_{mj}

Medición.

Δx_c

Corrección de calibración.

ÍNDICE GENERAL

INDICE DE FIGURAS.....	XIII
INDICE DE TABLAS	XVI
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE LOS BARCOS PESQUEROS Y SUS DAÑOS TÍPICOS	5
1.1 Descripción de sistemas de propulsión con motor a proa.	5
1.2 Descripción de sistemas de propulsión con motor a popa.....	19
1.3 Daños típicos que se presentan en los ejes.	23
CAPITULO 2: RECEPCIÓN Y DEFINICIÓN DE TRABAJOS DE REPARACIÓN DE EJES EN LA MAESTRANZA.....	45
2.1 Esquema para la recepción de los ejes dañados.....	45
2.2 Estimación de dimensiones empleando las reglas de las sociedades clasificadoras.	53
2.3 Clasificación de las propuestas de reparación.	66
CAPITULO 3: PLAN PARA REPARAR LOS EJES DE PROPULSIÓN.....	71
3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.	71
3.2 Encamisados.....	82
3.3 Trabajos de rectificada y refrendada.....	91
3.4 Perspectivas a futuro.....	100
CONCLUSIONES.....	102
BIBLIOGRAFÍA.....	115

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1.1.1.-PARTES DE UN EJE INTERMEDIO	8
FIGURA 1.1.2: PARTES DE UN EJE DE COLA	9
FIGURA 1.1.3: DETALLE DEL PRENSAESTOPA	11
FIGURA 1.1.4: PROPULSIÓN CON MOTOR A PROA	11
FIGURA 1.1.5: CHAVETAS EMPLEADAS EN LOS EJES DE PROPULSIÓN	16
FIGURA 1.1.6: CHAVETERO EN FORMA CÓNICA	19
FIGURA 1.2.1: DETALLE DE LA PROPULSIÓN CON MOTOR A POPA	20
FIGURA 1.2.2: ACCESORIOS DE LA PROPULSIÓN A POPA	21
FIGURA 1.2.3: OTRO ESQUEMA DE LA PROPULSIÓN A POPA	22
FIGURA 1.3.1: DAÑO EN EL SECTOR DE LA CAMISA	26
FIGURA 1.3.2: SOCAVACIONES EN EL CENTRO DEL EJE	27
FIGURA 1.3.3: PITTINGS PROFUNDOS EN EL EJE	29
FIGURA 1.3.4: PITTINGS BAJO LA ZONA DE LA CAMISA	30
FIGURA 1.3.5: PITTINGS SUPERFICIALES DEL EJE	30
FIGURA 1.3.6: RAYONES EN EL SECTOR DE LOS DESCANSOS	32
FIGURA 1.3.7: DESGASTE POR FRICCIÓN	34
FIGURA 1.3.8: DESGASTE POR ENTRALLAMIENTO	35
FIGURA 1.3.9: DESGASTE POR FRICCIÓN DE CONTAMINANTES	35
FIGURA 1.3.10: DESGASTE NORMAL	36
FIGURA 1.3.11: DAÑO DEL EJE POR ROTURA DE CAMISA POR ESFUERZOS	37
FIGURA 1.3.12: ROTURA EN LA UNIÓN CON LA BRIDA	39
FIGURA 1.3.13: ROTURA EN EL CONO DE LA HÉLICE	40

FIGURA 1.3.14: CONO DEFORMADO	41
FIGURA 1.3.15: EJE CORTADO DE TAJO	42
FIGURA 1.3.16: TRIZADURAS SUPERFICIALES	42
FIGURA 1.3.17: PROBLEMA MIXTO DE SOBRESFUERZO Y PITTING	43
FIGURA 2.1.1: CAJA DE HERRAMIENTAS DE BLOQUES PATRÓN DE 0,005 MM	47
FIGURA 2.1.2: REGLAS PATRÓN	48
FIGURA 2.1.3: PATRONES DE DIÁMETRO INTERIOR	49
FIGURA 2.1.4: PATRONES DE DIÁMETRO EXTERIOR	49
FIGURA 2.1.5: COMPARADOR DE AGUJA	50
FIGURA 2.1.6: FUNCIONAMIENTO DEL COMPARADOR	51
FIGURA 2.3.1: ESQUEMA GENERAL DE REPARACIÓN NIVEL 1	67
FIGURA 2.3.2: PROPUESTA DE REPARACIÓN NIVEL 2	70
FIGURA 3.1.1: PORCENTAJE DE NECESIDAD DE EMPLEO DEL TORNO	73
FIGURA 3.1.2: EJE ALINEADO EN EL TORNO	75
FIGURA 3.1.3: EJE ALINEADO SUSPENDIDO EN TRES PUNTOS	78
FIGURA 3.1.4: EJE EN FRESA PARA CONFECCIONA CHAVETERO	82
FIGURA 3.2.1: CAMISA DE BRONCE LISTA PARA MAQUINAR	85
FIGURA 3.2.2: CAMISA DE BRONCE LISTA	86
FIGURA 3.2.3: DETALLE DE LA UNIÓN CAMISA EJE	86
FIGURA 3.2.4: PULIDA DE IMPERFECCIONES	87
FIGURA 3.2.5: CAMISA DE ACERO INOXIDABLE	88
FIGURA 3.2.6: PULIDA DE CAMISA DE ACERO INOXIDABLE	88
FIGURA 3.2.7: PUESTA EN CALIENTE DE CAMISA DE BRONCE	89

FIGURA 3.2.8: PUESTA EN CALIENTE EN EJE DE CAMISA	90
FIGURA 3.2.9: MAQUINADO INTERIOR DE CAMISA	90
FIGURA 3.3.1: BRIDA LISTA PARA RECTIFICAR	93
FIGURA 3.3.2: BRIDA EN PROCESO DE RECTIFICADA	93
FIGURA 3.3.3: POSICIÓN DE LAS CUCHILLAS	94
FIGURA 3.3.4: ACOPLÉ DE BRIDA Y TRABAJOS FINALES	94

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I : MATERIALES RECOMENDADOS EN LOS EJES DE PROPULSIÓN	12
TABLA II : NORMA UNE 17102 PARA CHAVETAS.....	15
TABLA III : POTENCIAL DE OXIDACIÓN DE ALGUNOS METALES	44

INTRODUCCIÓN

La maestranza naval, es una de las áreas más importantes de un astillero y por no decirlo así, en base a mi experiencia, es dónde se presentan los mayores problemas y puntos álgidos en los conflictos con el Armador.

Las embarcaciones llegan al astillero ocultando golpes o daños ocurridos durante las faenas. Luego de una minuciosa inspección al sistema de propulsión, en la maestranza naval se tiene conocimiento de lo pasado. El sistema de propulsión es como la columna vertebral del buque y basta con una radiografía para saber la salud del individuo.

Algunas veces estos daños se repiten volviendo monótona la reparación. En otras ocasiones los sistemas traen daños que implican un análisis profundo, minucioso y detallado de lo que habría ocurrido, convirtiéndose estas reparaciones en una gran experiencia, ya que enriquece el conocimiento el hallar la solución verdadera y aumenta los buenos deseos de hacer siempre algo más por la industria naval.

De esta forma, el objetivo del presente informe técnico es el de elaborar una guía o plan que estandarice las reparaciones a seguir, planteándose los lineamientos de lo que se debe chequear, medir y visualizar.

La metodología a seguir es de extraer la información en base a observaciones realizadas durante mis años de experiencia, a un sinnúmero de chequeos y reparaciones a los sistemas propulsores de numerosos buques. Algunos buques inclusive han regresado luego de su periodo de trabajo normal para los mantenimientos de rutina, presentando los desgastes comunes en la propulsión fruto del trabajo continuo, los trabajos forzados y las paradas no planificadas.

Indicando cuáles son las herramientas más comunes empleadas en la maestranza, se puede establecer un procedimiento que indique lo que se debe hacer u observar desde que los ejes de propulsión son retirados de los buques y llegan a la maestranza, así como también, que materiales se deben emplear para reponer o reparar y el procedimiento para la ejecución de los trabajos.

El grupo de barcos pesqueros que opera en Ecuador, tiene un tipo de propulsión, por decirlo así estándar, no solo por el lugar dónde fueron construidos sino porque los Armadores así lo solicitan. Por ejemplo, los buques

provenientes de astilleros del Perú, tienen el mismo tipo de propulsión con motor a proa y por ende los mismos problemas. Su línea de propulsión es muy larga, llena de contraejes, bridas pesadas, innumerables descansos, sistemas de engrase, pernos, prensaestopas y dificultades de alineamiento.

Las reparaciones de estos buques suelen ser las mismas tales como: construcción de ejes nuevos por rotura, desgaste de ejes por fricción, desgaste de ejes por corrosión, problemas de fricción porque la grasa no llega uniforme a todos los descansos o el maquinista se descuidó por un tiempo, desmoronamiento del babbit^[1], desalineamientos de la línea propulsiva y problemas de vibración por la excesiva corrosión en las bases de los mismos.

Otra de las inquietudes dentro de los trabajos en la maestranza naval, es la de dar tratamiento térmico o no a las piezas de ajuste para introducir en los ejes, por ejemplo si la pieza va a ser instalada con nitrógeno líquido, la tolerancia y ajuste es menor que si se instala con proceso de calor.

No está por demás decirlo, que estos problemas acarrearán costos elevados, pérdida de tiempo en dique, despido de personal por ineptitud o inexperiencia, pérdida del cliente o Armador, entre otros.

¹ Material de sacrificio, ofertado en el mercado Ecuatoriano como magnolia.

Los armadores, ingenieros y estudiantes, siempre andan a la búsqueda de fórmulas rápidas y si es posible matemáticas para la solución de todos los problemas y conflictos con las reparaciones del sistema propulsor.

CAPITULO 1: DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PROPULSIÓN DE LOS BARCOS PESQUEROS Y SUS DAÑOS TÍPICOS

1.1 Descripción de sistemas de propulsión con motor a proa.

El sistema de propulsión es el conjunto de los elementos que permite que un buque se desplace, a través de las aguas, de un punto a otro operando en todas las condiciones de trabajo sin que falle, durante el tiempo de vida útil del mismo.

En el caso de los barcos pesqueros que capturan especies pelágicas, el sistema trabaja aligerado cuando el buque navega de puerto al caladero y durante la travesía de regreso a puerto con carga de pescado en las bodegas trabaja en su máxima condición de diseño.

Los túneles de propulsión no son completamente aislados de tal manera que ingresa agua de mar a la propulsión. Esto significa, que el sistema de propulsión

tiene una carga adicional por corrosión y desgaste durante su operación y que definitivamente es una condición a considerar durante el mantenimiento.

Para realizar la descripción del sistema con motor a proa, se lo realizará en tres partes:

- a) Descripción de las partes que lo componen.
- b) Materiales más comunes.
- c) Detalles técnicos del diseño.

a) Descripción de las partes que lo componen.

Los componentes principales del sistema propulsor son:

- El eje propulsor que es el que transmite la potencia rotativa del motor a la hélice, y luego lleva el empuje generado por ella hasta el cojinete de empuje, el que finalmente lo transmite a la estructura principal de la embarcación^[17].
- Los cojinetes, que son los elementos que soportan el eje propulsor y lo mantienen con el alineamiento adecuado.
- El túnel y el prensaestopa. El túnel del eje provee el orificio para que el eje “salga” del casco de la embarcación y el prensaestopa es el dispositivo que asegura la estanqueidad el buque.

- Los acoplamientos pueden venir maquinados en el extremo del eje o ser del tipo desmontable. Los acoplamientos desmontables deben ser capaces de transmitir torque y empuje.
- Los embragues y reductores que son sistemas de reducción de velocidad y de inversión de marcha y de embrague.

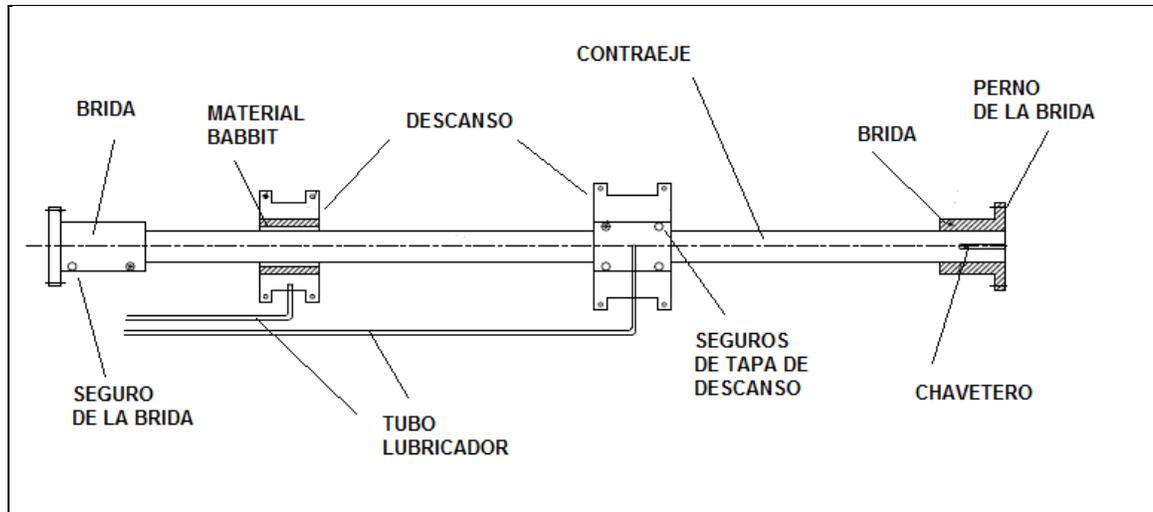
La ubicación del motor principal es la principal diferencia en los distintos buques. Si el motor se encuentra en proa, el sistema de ejes constará de tres tipos: de cola o propulsores, intermedio, y de empuje o de máquina.

Eje de máquina se denomina al eje que va directamente conectado al motor por un acoplamiento de tipo rígido y en su parte posterior va conectado al eje intermedio.

El eje intermedio está compuesto, generalmente, de varios tramos de ejes unidos entre sí mediante pernos ajustados perfectamente, 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 cizalla^[15].

Esto se ejemplifica en la **Figura 1.1.1.-Partes de un eje intermedio.**

Figura 1.1.1.-Partes de un eje intermedio

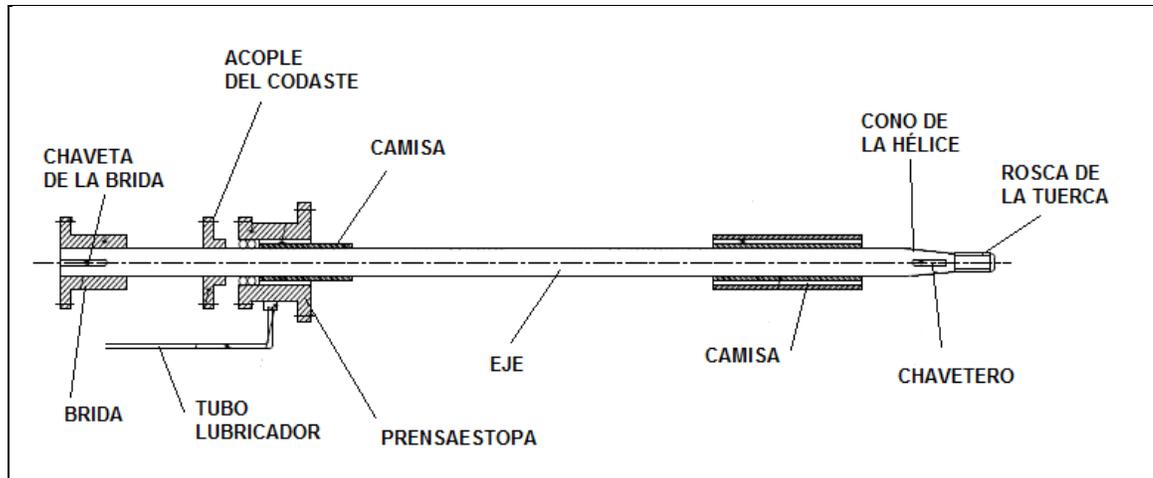


Fuente: Imagen adaptada de [15]

El eje de cola es el último tramo de la línea de ejes sobre el cual se soporta la hélice tal como se ejemplifica en la **Figura 1.1.2: Partes de un eje de cola**

Los esfuerzos que debe soportar un eje propulsor Comúnmente el eje de cola es un eje macizo de acero forjado, pero en ciertos buques, se suelen usar ejes de cola huecos, consigue así un aligeramiento de peso.

Figura 1.1.2: Partes de un eje de cola



Fuente: Imagen adaptada de [15]

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 una junta estanca contra la cara posterior del núcleo de la misma y el arrastre de la hélice se asegura por una claveta longitudinal ubicada mitad por mitad en el eje y en el núcleo de la manzana de la hélice ^[15].

El eje de cola está provisto de una camisa de bronce o de acero inoxidable en los puntos de apoyo (como arbotantes, prensa estopa y descansos) para evitar el desgaste por el contacto con el agua salada.

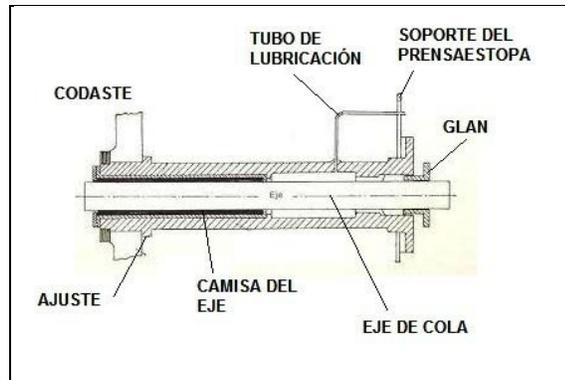
Estas camisas se ensamblan en sus lugares mediante procesos térmicos, sea por calor o en frío, dependiendo del tipo de ajuste dado, situación que se explicará en capítulos posteriores

Debido a la diferencia de materiales entre la camisa y el resto del eje, y por el medio en que actúan, se producen efectos de corrientes galvánicas que provocan corrosiones y picaduras en el eje.

El prensaestopa colabora con el desgaste del eje, puesto que cuando se desgasta el mergollar o sello del prensa, que evita que entre agua al buque; este desgasta el eje o la camisa. Ver **Figura 1.1.3: Detalle del prensaestopa,**

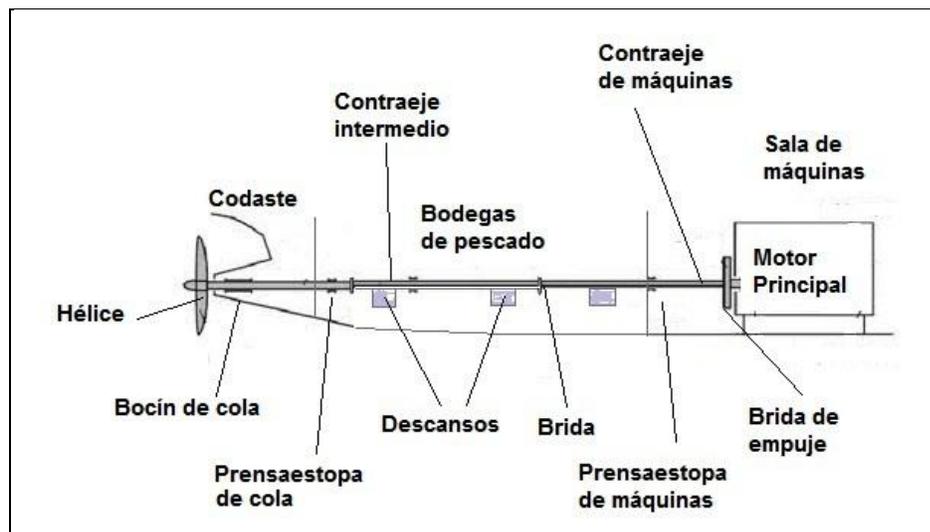
Todas estas partes conforman este complejo sistema de motor a proa. En la **Figura 1.1.4: Propulsión con motor a proa,** se observa una configuración típica del sistema de propulsión con motor a proa. En ella se aprecia que la hélice se conecta con el motor mediante una línea de varios ejes soportada sobre varios descansos.

Figura 1.1.3: Detalle del prensaestopa



Fuente: Imagen adaptada de www.googleimágenes.com.

Figura 1.1.4: Propulsión con motor a proa



Fuente: Personal, adaptación de notas de clase de materia Sistema Propulsión.

Este tipo de propulsión es el más complejo, no solo por el alineamiento, sino por la cantidad de partes que lo componen, y es el de mayor desgaste.

De la experiencia puedo decir, que los buques con motor a proa, deben ingresar a dique máximo cada dos años para reparar la propulsión, ya que de observaciones personales realizadas en los años de trabajo^[2], hacer el mantenimiento a estas propulsiones luego de ese tiempo es un error.

b) Materiales más comunes.

En cuanto a los materiales más empleados se tienen los presentados en la siguiente tabla:

Tabla i : Materiales recomendados en los ejes de propulsión

TIPO	MATERIAL	MODELO
Eje de cola	Acero al carbón	V174
	Acero Inoxidable	Aqualoy17, que corresponde a una aleación que se usa en barcos de pesca porque ha demostrado tener la mejor combinación de fuerza y dureza ^[16] .
	Acero inoxidable	Aqualoy22, mejor que el 17 y 19, con alta resistencia a la corrosión.
Contraejes	Acero al carbón	304, alta dureza con bajas propiedades contra la corrosión.
	Acero inoxidable	Aqualoy19, ideal para sitios donde no prime la protección contra la corrosión. Es de un acero inoxidable del cromo-níquel que es completamente austenítico, no magnético consolidado por una adición al nitrógeno ^[16] .

² Astillero Maridueña, Astinave, Tecnavin.

Eje de cola y Contraejes	Acero de transmisión	Baja resistencia a la corrosión y a las corrientes parásitas. Ideal para el torque de la propulsión y trabaja bien cuando es protegido por materiales cerámicos.
Bridas y acoples unidos por pernos	Hierro fundido	Fácil de maquinar y debe ser protegido contra la corrosión.
Chavetas	Acero al carbono	Resiste elevadas presiones.

Fuente: Personal, Materiales usados durante reparaciones de ejes-Astillero Maridueña.

c) Detalles técnicos del diseño.

Una de las partes más importantes y de los que depende el buen funcionamiento de la propulsión es la chaveta y su correspondiente alojamiento el cual se denomina chavetero. Una chaveta también tiene la función de un sistema de seguridad, ya que en el caso de un incremento drástico en las condiciones de carga, la chaveta fallará por el esfuerzo cortante antes de falle el eje (componente más caro del sistema).

Para establecer su característica técnica, se tiene al eje como guía para definir el tamaño de la chaveta. En la **Tabla ii : Norma UNE 17102 para chavetas** cortesía de Chacón^[4], se muestra la norma de la confección del tamaño de la chaveta en función de la forma.

Las dimensiones presentadas en la **Tabla ii : Norma UNE 17102 para chavetas** corresponden a las mostradas en la **Figura 1.1.5: Chavetas empleadas en los ejes de propulsión** extraída de la misma referencia.

Las chavetas son elementos desmontables que facilitan el montaje y desmontaje del sistema de propulsión. La chaveta o “cuña” tiene que tener buen ajuste y carecer de juego o “luz” que pueda desgastarla o romperla por cizallamiento. Este elemento se sitúa entre el eje y la masa de una pieza que transmite potencia con el fin de transmitir torque.

Tabla ii : Norma UNE 17102 para chavetas

Sección b x h	Ancho b		Altura h		Chafilán b _f		Longitud l ⁽¹⁾	
	Nominal	Tolerancia h9	Nominal	Tolerancia (¹)	Mínimo	Máximo	de	a
2 x 2	2	0	2	0	0,16	0,25	6	20
3 x 3	3	-0,025	3	-0,025	0,16	0,25	6	36
4 x 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45
5 x 5	5	-0,030	5	-0,030	0,25	0,40	10	56
6 x 6	6		6		0,25	0,40	14	70
8 x 7	8	0	7		0,25	0,40	18	90
10 x 8	10	-0,036	8	0	0,40	0,6	22	120
12 x 8	12		8	-0,090	0,40	0,6	28	140
14 x 9	14	0	9		0,40	0,6	36	160
16 x 10	16	-0,043	10		0,40	0,6	45	180
18 x 11	18		11		0,40	0,6	50	200
20 x 12	20		12		0,60	0,8	56	220
22 x 14	22	0	14	0	0,60	0,8	63	250
25 x 14	25	-0,052	14	-0,110	0,60	0,8	70	280
28 x 16	28		16		0,60	0,8	80	320
32 x 18	32		18		0,60	0,8	90	360
36 x 20	36	0	20		1,00	1,2	100	400
40 x 22	40	-0,062	22	0	1,00	1,2	-	-
45 x 25	45		25	-0,130	1,00	1,2	-	-
50 x 28	50		28		1,00	1,2	-	-
56 x 32	56		32		1,6	2,00	-	-
63 x 32	63	0	32		1,6	2,00	-	-
70 x 36	70	-0,074	36	0	1,6	2,00	-	-
80 x 40	80		40	-0,160	2,5	3,00	-	-
90 x 45	90	0	45		2,5	3,00	-	-
100 x 50	100	-0,087	50		2,5	3,00	-	-

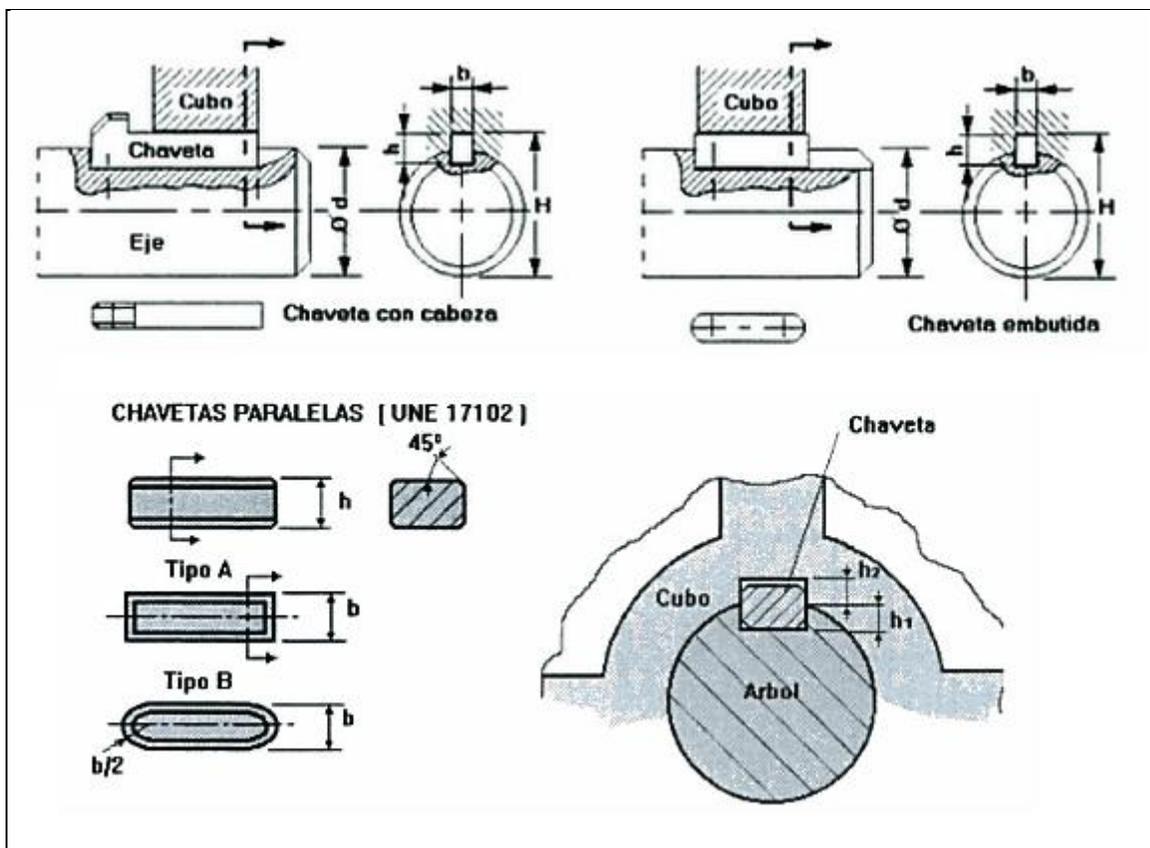
Fuente: Tecnología mecánica, máquinas y herramientas, Chacón L.

Normalmente en los sistemas de propulsión se emplea la chaveta rectangular, tal como se muestra en la **Figura 1.1.5: Chavetas empleadas en los ejes de propulsión**, en la cual se muestran los filos vivos que tienen.

En el diseño, se consideran siempre dos modos de fallo que deben tomarse en cuenta al realizar la reparación:

- Cortadura sobre la sección transversal de la chaveta que corresponde a la superficie de la altura de la misma entre piezas.
- Aplastamiento por compresión entre la superficie superior de la chaveta y la inferior.

Figura 1.1.5: Chavetas empleadas en los ejes de propulsión



Fuente: Tecnología mecánica, máquinas y herramientas, Chacón L.

De tal forma que según la teoría de materiales, se puede calcular la fuerza cortante F con la siguiente expresión:

—

Con lo cual obtengo el esfuerzo cortante τ con la siguiente expresión:

— — —
—

Donde:

L = Longitud de la chaveta.

D = Diámetro del eje de propulsión.

b = Ancho de la chaveta.

h = Altura de la chaveta.

T = Par a transmitir.

A_s = Área en la cara longitudinal superior

Las dimensiones b y h van de acuerdo con las presentadas en la **Tabla ii** : **Norma UNE 17102 para chavetas**, y que son válidas para definir su característica técnica.

Para calcular el aplastamiento de la chaveta, se recurre a la teoría de materiales, por lo cual se sabe que el esfuerzo de compresión y las áreas de la chaveta sometidas a este esfuerzo son las mismas en la parte alojada en el eje de propulsión y en la otra parte la cual puede ser una brida o hélice.

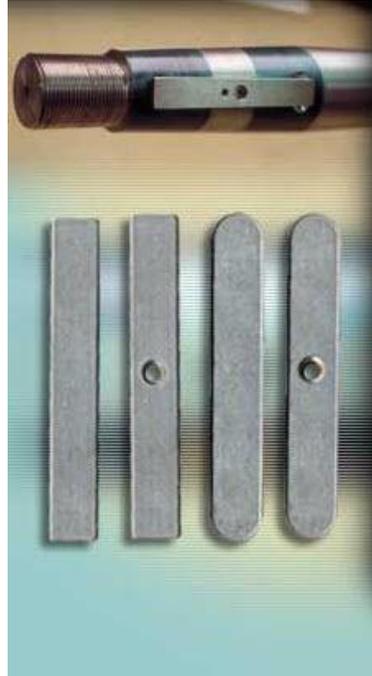
De tal forma que empleando la nomenclatura de la **Tabla ii : Norma UNE 17102 para chavetas** se tiene que el fallo se producirá sobre la superficie con la menor tensión de fluencia del material la compresión es:

$$\sigma_c = \frac{F}{A_c}$$

Con la definición de estas dos fuerzas, se puede dimensionar según las sociedades clasificadoras, lo que será presentado en el capítulo siguiente. Existen otras normas aparte de la presentada aquí con la DIN 6680 a 6689, la ISO y la ASME pero no son objeto de este estudio.

En el eje de cola principalmente, el acople con la hélice es cónico tal como se ven en la **Figura 1.1.6: Chavetero en forma cónica**. Los contraejes tienen este tipo de acople cuando poseen en sus extremos bridas cónicas.

Figura 1.1.6: Chavetero en forma cónica



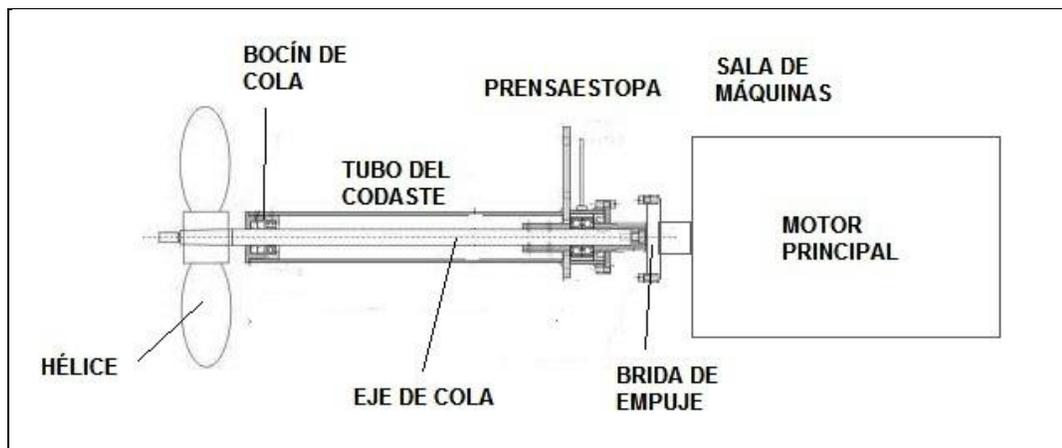
Fuente: Imagen de www.googleimagenes.com

1.2 Descripción de sistemas de propulsión con motor a popa.

El sistema con motor a popa tal como se ve en la **Figura 1.2.1: Detalle de la propulsión con motor a popa**, es más sencillo pero muchas veces conlleva mayor tecnología. Por ejemplo como es el caso de ciertos buques de fuerza como los remolcadores que tienen hélices de paso variable para lo cual el eje de cola es hueco con sistemas de lubricación de aceite en su interior.

Los pesqueros con hélice de paso variable no son muy comunes, pero las reparaciones, cuando se presentan, requieren cálculos para ejes huecos, los cuales encontramos en las reglas de las Sociedades clasificadoras.

Figura 1.2.1: Detalle de la propulsión con motor a popa



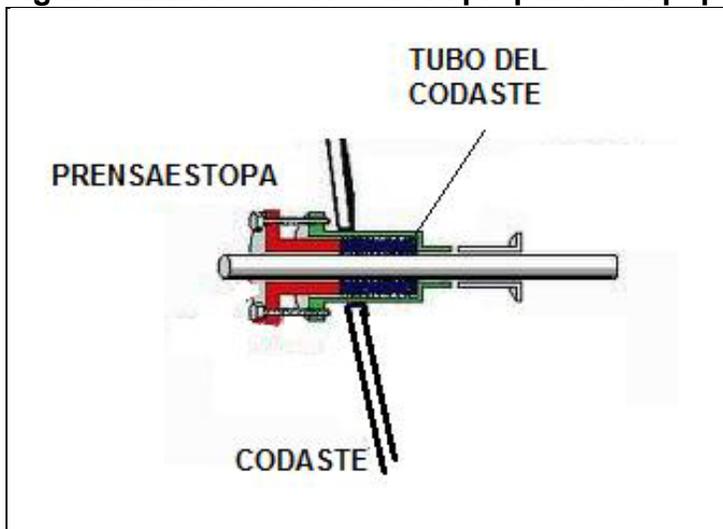
Fuente: **Personal, adaptación de notas de clase de materia Sistema Propulsión.**

El sistema posee un solo eje que muchas veces se lo denomina eje de empuje, y conecta la brida del reductor directamente con la hélice.

Posee un prensaestopa, que muchas veces dista mucho de ser el mismo sistema del motor a proa, ya que la corta distancia requiere de sistemas más complejos parecidos a los sellos de las bombas.

En la **Figura 1.2.2: Accesorios de la propulsión a popa**, se observa un prensaestopa convencional puesto en un sistema a popa.

Figura 1.2.2: Accesorios de la propulsión a popa

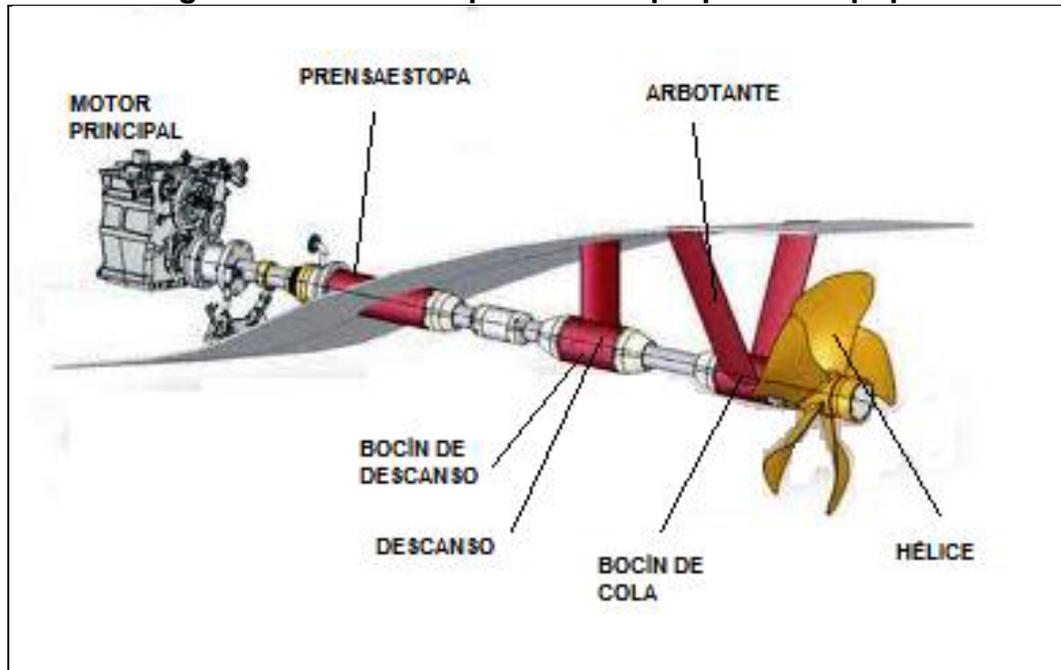


Fuente: Imagen adaptada e www.googleimágenes.com

En este se observa que hay poco espacio para el ajuste del mergollar y adicional la curva del codaste dificulta su ubicación.

Existen otros sistemas, que tampoco están instalados en los pesqueros de la referencia de esta tesis pero vale mencionarlos, que es el de un solo eje para motor a popa, pero con arbotantes o “patas de gallo”, tal como se ve en la **Figura 1.2.3: Otro esquema de la propulsión a popa.**

Figura 1.2.3: Otro esquema de la propulsión a popa



Fuente: Imagen adaptada e www.googleimagenes.com

Este sistema aumenta su complejidad por lo siguiente:

- El prensaestopa está suspendido, es decir no hace las veces de descanso para el eje.
- El eje puede estar encamisado en la parte del prensaestopa para evitar daños al mismo.

- En el arbotante intermedio se coloca un bocín de bronce-caucho para que pase el eje, el cual puede que también esté encamisado dependiendo del diseño de la propulsión y el tamaño de la misma-
- En la “pata de gallo” o arbotante, antes del cono de la hélice, se coloca otro bocín de bronce-caucho, para que soporte el peso de la hélice.
- El eje de cola en la pata de gallo, puede estar encamisado dependiendo del diseño de la propulsión y el tamaño de la misma.
- Los desgastes en las camisas o bocines producen vibraciones al sistema.

En cuanto a los materiales, se aplica la misma **Tabla i : Materiales recomendados en los ejes de propulsión.**

Los criterios aplicados en el punto 1.1 son válidos para los ejes sencillos de motor a popa, así como las normas y cálculos aplicados.

1.3 Daños típicos que se presentan en los ejes.

En los sistemas de propulsión de los barcos pesqueros, por su condición de trabajo aligerado, otras veces cargados de pesca, las contramarchas que se dan durante las maniobras de faenas y malas ejecuciones del capitán de pesca; se

producen daños típicos en los ejes. Adicional se tiene los daños por mantenimiento normal, es decir las reparaciones por el desgaste anual de la propulsión, sea por fricción, corrosión y desbalanceo de la hélice.

De tal forma, que en base a mi experiencia, los daños en los ejes propulsores los voy a clasificar de 3 maneras:

- a) Por desgaste de uso normal.
 - Corrosión normal.
 - Corrientes focalizadas.
 - Fricción por trabajo.
- b) Por falla durante las maniobras.
 - Concentración de esfuerzos.
 - Sobreesfuerzos.
- c) Por mala calidad del material.
 - Material inadecuado.

a) Corrosión normal.

Por efecto de la salinidad y el medio agresivo como lo es el túnel de propulsión y el túnel húmedo del eje de cola, la corrosión se presenta normalmente en los acoples o bridas de los ejes y contrajes.

Suele ocurrir que las bridas pierden su ajuste con los ejes y permiten que ingrese el agua salada en pequeñas cantidades, generando corrosión continua que desmorona el acero.

b) Por corrientes focalizadas.

En los ejes se observa picaduras por corrientes focalizadas, debido a que se encuentran dentro de una cámara o túnel que está expuesto al agua de mar, residuos de pescado y otros contaminantes.

El eje actúa como un ánodo de sacrificio entre el agua de mar y el acero de la embarcación, generalmente comenzando en la zona cerca de discontinuidades.

Como vemos en la **Figura 1.3.1: Daño en el sector de la camisa**, en la cual se observan desprendimientos de material profundo por causa de las corrientes focalizadas.

Figura 1.3.1: Daño en el sector de la camisa



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña, Año 2011.

La mayor zona o sector que produce este tipo de daños por su configuración, diferencia de potencial eléctrico entre los materiales y desprotecciones contra el medio salino, son las camisas de bronce en los ejes de cola.

Otro tipo de daño por uso frecuente, es el mostrado en la **Figura 1.3.2: Socavaciones en el centro del eje**, el cual corresponde a huecos o hendiduras circulares sobre la superficie del eje a modo de queso.

Figura 1.3.2: Socavaciones en el centro del eje



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2011.

Esto se produce, porque los armadores que forran los ejes con resina de poliéster insaturado más tela Mat para protegerlos del ambiente marino. Este trabajo es realizado de una forma manual y va a depender de muchas causas para que quede aplicado sin porosidades, sin imperfecciones y sin deficiencias.

Estas causas son las siguientes:

- Habilidad del aplicar de la resina y la tela.
- Calidad de la resina preparada, es decir si tiene mucho o poco catalizador (iniciado), cobalto (acelerante) o estireno (disolvente).
- Estado de ánimo del aplicador.

- Hora del día en la cual interfiere el punto de rocío que permite que haya humedad sobre la superficie del eje durante la aplicación.
- Contaminación aérea, pues si lo fabrica en un sitio de mucho polvo ensucia la superficie.
- Limpieza del eje o preparación de la superficie, por ello se recomienda muchas veces realizar sandblasting o hidroblasting al mismo previo a la aplicación.
- Tiempo de curado, pues muchas veces por la prisa se lo manipula antes de que esté curado al manipuleo, pues lo ven seco pero significa que está curado al tacto. Esto produce grietas por dónde filtrará el agua e iniciará la corrosión.

Por todas estas causas, se producen filtraciones de agua de mar o agua contaminada con sales al espacio intersticial del eje con la fibra. La resina por su materialidad de enlaces covalentes va a generar diferencias de potencial con el eje, lo cual provocará las socavaciones en forma de media esfera. Se crea un arco de corriente permanente que daña al eje muchas veces en forma irreversible.

En la **Figura 1.3.3: Pittings profundos en el eje**, se observa cómo las corrientes actúan en zonas focalizadas, que en numerosos casos pueden inutilizar los ejes.

Figura 1.3.3: Pittings profundos en el eje



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

En la **Figura 1.3.4: Pittings bajo la zona de la camisa**, se muestra otro ejemplo de cómo las corrientes actúan entre placas de distancia infinitesimal. Cuando la camisa no está pegada bien al eje, en esa mínima distancia se crean arcos [14] voltaicos que generan perforaciones o pittings focalizados. En el caso mostrado en la **Figura 1.3.4: Pittings bajo la zona de la camisa**, el eje se debe analizar a profundidad para que se decida si se lo emplea o nó.

En la **Figura 1.3.5: Pittings superficiales del eje**, vemos otro efecto producido por la corriente, que daña la protección superficial del material.

Figura 1.3.4: Pittings bajo la zona de la camisa



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 1.3.5: Pittings superficiales del eje



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

c) Fricción por trabajo.

El eje por ser un transmisor de potencia mecánica, gira a ciertas revoluciones durante todo su trabajo. En el caso de los ejes de propulsión de buques pesqueros, las revoluciones están siempre entre 250 a 350 RPM, pues los buques usan cajas reductoras para aumentar la potencia. Son muy pocos los casos de pesqueros que no tengan caja reductora, como lo es el caso de los buques mercantes.

De tal forma que en los puntos de apoyo o descansos de los ejes, va a existir desgaste por fricción, el cual se verá en forma de rayones como se aprecia en la **Figura 1.3.6: Rayones en el sector de los descansos**. Estos rayones, siguen formas circunferenciales y paralelas veces entre sí. Esto se debe a los contaminantes que se introducen en la lubricación del descanso, sea por aceite o por grasa, y se alojan en las paredes del material de sacrificio.

Figura 1.3.6: Rayones en el sector de los descansos



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2011.

Un ejemplo de este efecto es en los contraejes intermedios, que descansan sobre dos bases lubricadas con grasa mineral. Como el túnel de pesca no es completamente aislado, ingresa arenilla y partes de pescado que se mezclan con la grasa y producen este efecto.

El eje de cola, que es el eje más importante y el más complicado de desmontar ya que no se puede hacer a flote como los otros ejes, se colocan materiales de sacrificio como las camisas para que sean estos los que se rayen y no el acero del eje.

Cabe destacar que un rayón por falta de lubricación o engrase, ya no es un desgaste normal porque se produce un daño. Los rayones ya no siguen una

forma circunferencial paralela, sino que se derrite el metal y se funde quedando rebabas del mismo.

Otro caso son los rayones y desgastes en las camisas tal como se observa en la **Figura 1.3.7: Desgaste por fricción**, en la cual se observa cómo en el bronce se producen hendiduras circunferenciales (producidas en este caso por mucho ajuste del mergollar).

En la **Figura 1.3.8: Desgaste por entrallamiento**, se visualiza otro tipo de desgaste producto de los cabos o mallas de pesca que se enredan en la punta del eje y penetran por el túnel produciendo daño circunferencial a la camisa y al bocín de cola.

Figura 1.3.7: Desgaste por fricción



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2011.

En la **Figura 1.3.9: Desgaste por fricción de contaminantes**, se observa cómo las partículas que ingresan y se quedan en el túnel de propulsión con en su caso en el prensa estopa, dañan el bronce de la camisa. Al igual que los anteriores el daño es circunferencial.

En la **Figura 1.3.10: Desgaste normal**, se observa un desgaste típico del bronce por el uso. Las no uniformidades del material causan que se den anillo de diferente espesor. También en este caso, actúa el peso del eje sobre el bocín de cola o prensa estopa, que producen este tipo de daño.

Figura 1.3.8: Desgaste por entrallamiento



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 1.3.9: Desgaste por fricción de contaminantes



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 1.3.10: Desgaste normal



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

d) Concentración de esfuerzos.

Los ejes llegan muchas veces con daños no visibles fácilmente al ojo humano, y estos corresponden a la concentración de esfuerzos. Uno de estos casos es el daño en el cono de la hélice del eje de cola.

En la **Figura 1.3.11:** , el bronce se rompe en zonas focalizadas y permite el paso del agua el cual corroe al eje.

Figura 1.3.11: Daño del eje por rotura de camisa por esfuerzos



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Este tipo de daño, no se observa al ojo humano fácilmente sino que muchas veces se requiere de pruebas END (ensayo no destructivo) como tintas penetrantes o ultrasonido para localizar la fisura y su profundidad.

En los conos del eje de cola, por lo general se presentan los siguientes daños:

- Fisura en el cono o en el chavetero.
- Chavetero agrandado por movimiento de la chaveta, seguramente la hélice golpeaba en el cambio de marcha.
- Hilo de la tuerca desgastado.

- Corrosión en el cono porque falló el sello entre la hélice y la camisa e ingresó el agua salada.

e) Sobreesfuerzos.

Por su condición de trabajo, el buque pesquero en ocasiones debe dar marcha adelante, marcha atrás, acelerarse a todas las RPM del motor principal y en ocasiones cuando se enreda la red o los cabos en la hélice, detenerse violentamente su marcha produciendo esfuerzos adicionales sobre el sistema propulsor.

En la **Figura 1.3.12: Rotura en la unión con la brida**, se observa un tipo de daño por este caso, en la cual se observa que el corte es completamente limpio indicando que ha intervenido únicamente el torque.

La ubicación de la falla puede tener algunas causas:

- Deficiencia del material en esa ubicación, que lo hace más propenso a fallar.
- Discontinuidad en el maquinado en la unión con la brida. Por lo general se recomienda que los filos sean redondeados y los bordes suavizados.

- Desalineamientos por el peso de la brida. Muchas veces cuando se cambian las bridas, se colocan unos de mayor peso que afectan toda la línea de ejes.

Figura 1.3.12: Rotura en la unión con la brida



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2011.

Otras veces por causa de las contramarchas, en el sector de la hélice, se excede el límite del material lo cual se observa en la **Figura 1.3.13: Rotura en el cono de la hélice.**

Figura 1.3.13: Rotura en el cono de la hélice



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2011.

Cómo en el caso anterior, la separación es limpia y para este ejemplo se separó el cono de la hélice en dique cortando con sierra la parte final. Para todos estos casos de debe de construir un eje nuevo para obtener el mismo número de elementos (en ciertos casos, dependiendo del sistema, se acorta el eje aumentando en la línea un contraeje pequeño denominado "muñeco").

En la **Figura 1.3.14: Cono deformado**, se observa como el sobreesfuerzo de los cambios de marcha adelante y a tras de forma brusca, deforman el cono de la hélice haciendo perder su circunferencialidad. En este caso, se comprueba con el dial de nivel en el torno.

Figura 1.3.14: Cono deformado



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

En la **Figura 1.3.15: Eje cortado de tajo**, se observa el daño producido porque se excede el límite de diseño o el eje fue calculado con un diámetro menor al requerido. En la **Figura 1.3.16: Trizaduras superficial** en cambio, se ve cómo el sobreesfuerzo va deformando y quebrando el eje provocando daños muy complejos de reparar.

Figura 1.3.15: Eje cortado de tajo



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 1.3.16: Trizaduras superficiales



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

En la **Figura 1.3.17: Problema mixto de sobreesfuerzo y pitting**, se observa un fenómeno común de los pitting cómo disminuyen la resistencia del eje produciendo un sobreesfuerzo con la nueva área seccional del eje. Este es un fenómeno combinado muy común en las embarcaciones pesqueras.

Figura 1.3.17: Problema mixto de sobreesfuerzo y pitting



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

f) Calidad del material.

Un material de calidad no adecuada para los ejes o las camisas, se corroe rápidamente y se rompe siendo la causa directa de los problemas anteriormente mencionados.

Una mala calidad del material sería un producto en que su composición química no es la adecuada para el medio en que trabaja. En la siguiente tabla se muestran, de mayor a menor, los valores numéricos de los potenciales eléctricos^[13] de algunos materiales.

Tabla iii : Potencial de oxidación de algunos metales

Material	Potencial	
Aluminio	-1.680	Activo o anódico  Noble o Catódico
Zinc	-0.760	
Hierro fundido	-0.440	
Acero Inoxidable con cromo		
Latón		
Cobre	+0.345	
Acero Inoxidable sin cromo		

Fuente: [13]

CAPITULO 2: RECEPCIÓN Y DEFINICIÓN DE TRABAJOS DE REPARACIÓN DE EJES EN LA MAESTRANZA

2.1 Esquema para la recepción de los ejes dañados.

Durante la recepción de ejes dañados y sus partes, la exactitud (veracidad y precisión) de las mediciones, es la causa principal de las discusiones con los armadores ya que una pieza de un eje, como la brida, se puede observar en buenas condiciones pero ya no tiene su ajuste de calibración y debe ser cambiada.

Es conveniente realizar las mediciones con herramientas que se ajusten a la norma UNE, las cuales se muestran en el apéndice 1, y son las aplicables a este proceso.

Para lograr esto con la mayor exactitud posible, se emplean las siguientes herramientas en la recepción.

- a) Bloques de patrón longitudinales.

- b) Reglas patrón.
- c) Patrones cilíndricos.
- d) Patrones cilíndricos.
- e) Comparadores mecánicos.

a) Los bloques de patrón longitudinales.

Los bloques patrón longitudinales son piezas con forma de paralelepípedo rectángulo en la que dos de sus caras opuestas son lo suficientemente planas y paralelas y materializan una longitud con gran exactitud. Los bloques patrón suelen ser de acero o de material cerámico y en el caso de nominales menores a 100 mm se suelen suministrar en juegos (también llamados cajas, por el recipiente en que se alojan) con bloques de varios nominales que permiten formar todos los valores de longitud inferiores e iguales a 100 mm con una escala mínima (división de escala).

Una de las principales características de estos bloques es que el alto grado de pulido de sus superficies de medida posibilita la unión de bloques por adherencia, de tal manera que el espacio ocupado por la unión es despreciable para la inmensa mayoría de los usos industriales.

A continuación se muestra una caja de 47 bloques patrón, en la **Figura 2.1.1:**
Caja de herramientas de bloques patrón de 0,005 mm.

Figura 2.1.1: Caja de herramientas de bloques patrón de 0,005 mm

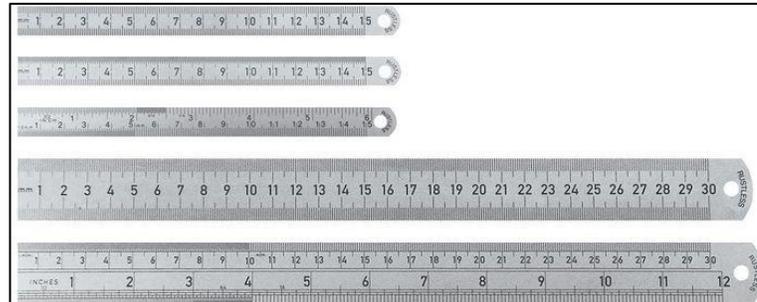


Fuente: Imagen tomada de www.googleimágenes.com

b) Reglas patrón.

Son aquellas reglas metálicas que en una de sus caras tienen una escala de alta precisión grabada. Estas reglas a veces traen dispositivos como lupas o niveles electrónicos. Es un error común emplear flexómetros lo cual da una precisión no adecuada.

Figura 2.1.2: Reglas patrón



Fuente: Imagen tomada de www.googleimagenes.com

c) Patrones cilíndricos.

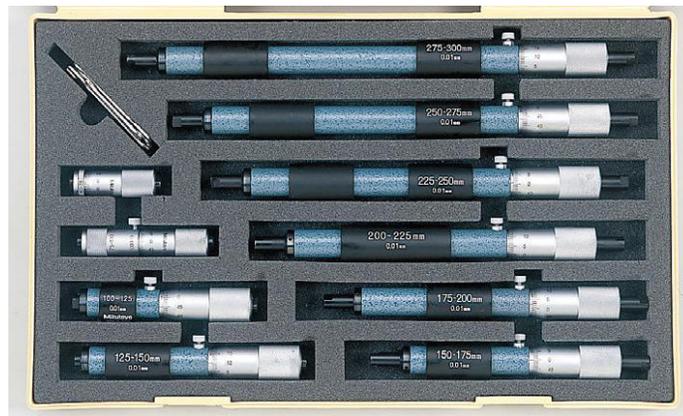
Son elementos de acero o carburo metálico que sirven para tomar medidas de diámetros interiores y de diámetros exteriores conocidos como anillos patrón.

Tienen su propia tabla para el grado de precisión y su tolerancia. Se emplean para medir el interior de las camisas nuevas, bridas, prensaestopas, glanes o “perseguidor”, etc.

En la **Figura 2.1.3: Patrones de diámetro interior** y en la **Figura 2.1.4: Patrones de diámetro exterior**, se muestran unos ejemplos de estas herramientas. Cuando se tiene ejes de paso variable con circuitos oleo

hidráulicos en su interior, la precisión de estas partes amerita el empleo de estas herramientas de medición.

Figura 2.1.3: Patrones de diámetro interior



Fuente: Personal, herramientas usadas en Maestranza-Astillero Maridueña. Año 2010.

Figura 2.1.4: Patrones de diámetro exterior



Fuente: Personal, herramientas usadas en Maestranza-Astillero Maridueña. Año 2010.

d) Comparadores mecánicos.

Los comparadores mecánicos que se emplean en la maestranza naval, utilizan un mecanismo de cremallera y piñón tipo “rack” que transmite de una manera amplificada los desplazamientos de la aguja y a su vez hacer girar el indicador sobre una escala circular graduada^[6] tal como se ve en la **Figura 2.1.5: Comparador de aguja.**

Estos no proporcionan medidas absolutas de longitud, sino las diferencias entre dos longitudes de valores muy próximos.

Figura 2.1.5: Comparador de aguja

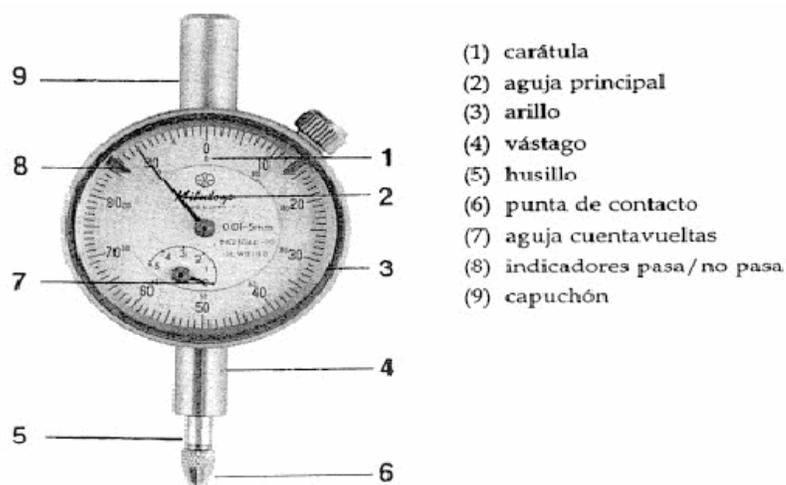


Fuente: Imagen de www.googleimagenes.com

El campo de medida es bastante reducido y lo más frecuente es que sea de 10 mm para la división de escala centesimal y de 5 milímetros para los milésimales.

Su fácil sujeción y posicionamiento, lo han convertido en la herramienta más empleada para los trabajos realizados en una maestranza naval.

Figura 2.1.6: Funcionamiento del comparador



Fuente: Imagen de www.googleimágenes.com

Empleando las herramientas anteriormente descritas, se procede a realizar los chequeos respectivos en la recepción de los componentes del sistema propulsor y gobierno:

- Verificación dimensional, que consiste en montar el eje en el torno y por oscilación radial establecer con el comparador la desviación o deflexión.
- Verificar la longitud total, mediante el uso de patrones longitudinales y establecer la desviación que tiene.
- Irregularidad circunferencial sobre los sitios de las camisas.
- Profundidad de los rayones.
- Tamaño del chavetero.
- Rectitud del chavetero.
- Dimensiones de los hilos de la tuerca, si aplica.
- Alineamiento de los acoples o bridas con relación al eje.
- Corrosión y socavaciones luego del sandblasting.
- Verificación de fisuras.
- Perpendicularidad de las caras de la bridas.

En el caso de que tengan que confeccionarse nuevas piezas, se aplica las reglas de las sociedades clasificadoras.

2.2 Estimación de dimensiones empleando las reglas de las sociedades clasificadoras.

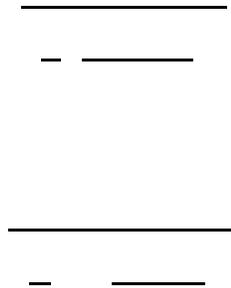
Las reglas de las sociedades clasificadoras, corresponden a un requisito importante a seguir en la maestranza cuando se tienen buques clasificados. Mediante estas se puede obtener información importante acerca del cálculo de dimensiones de los ejes.

Se presenta a continuación, un resumen de las principales reglas correspondientes al dimensionamiento de ejes, destacando la parte de la regla que más se emplea para verificación de dimensiones de dos Casas Clasificadoras: Lloyd's Register y Bureau Veritas. No se está presentando solo una transcripción de las reglas, sino explicando en cada parte de ellas su aplicabilidad.

Estas reglas sirven ampliamente para resolver problemas de roturas de ejes, y dirimir sobre las mejoras al diseño de la propulsión en la metalmecánica.

a) LLOYD'S REGISTER

Para el dimensionamiento de los contraejos, da esta recomendación sobre su diámetro d , el cual no debe exceder al calculado por la siguiente fórmula^[7]:



Donde:

$k = 1,0$ para ejes conformados con acoplamientos integrados o con acoplamientos ajustados en caliente.

$k = 1,10$ para ejes con chaveteros, donde el radio de la sección transversal desde el fondo de la chaveta, no debe ser menor que $0,0125d$.

$k = 1,10$ para ejes con agujeros radiales o transversales donde el diámetro del agujero no sea mayor que $0,3d$.

$k = 1,20$ para ejes con ranuras longitudinales, teniendo un largo no mayor que $1,4d$ y un ancho no mas que $0,2d$, donde d es determinado con $k = 1,0$.

$F = 95$ (86) para instalaciones con turbinas, instalaciones con propulsión eléctrica o propulsión diesel con acoplamientos tipo slip coupling. (Tipo de acoplamiento que permite insertar un eje en el otro con el fin de acoplar, para

ello los ejes deben tener distintos diámetros, con ello se consigue también reducir el torque).

$F = 100 (90,5)$ para otras instalaciones con propulsión diesel.

$P (H)$ = poder transmitido, en K_w .

R = revoluciones por minuto.

σ = Resistencia a la tracción mínima del material del eje, en N/mm^2 (Kgf/mm^2)

Después de un largo de $0,2d$ desde el final de un chavetero, agujeros radiales o transversales y $0,3d$ desde el final de una ranura longitudinal; El diámetro del eje puede ser gradualmente reducido para determinarlo con $k=1,0$.

Las reglas para la elección del diámetro del eje intermedio para motores propulsores diesel, eléctricos o turbinas pueden ser reducidas un 3,5% para barcos clasificados para navegar en aguas tranquilas y un 1,75% para barcos clasificados para navegar en aguas abiertas.

Para “gear quill shafts” o eje hueco con un segundo eje interno el cual no es muy común en este tipo de barcos, ya que corresponde a hélice de paso variable, se aplica la siguiente regla. En tal caso, en la maestranza naval se debe disponer la experiencia para cualquiera de estos casos.

El diámetro del “quill shaft” no debe ser menor al dado por la siguiente fórmula^[7]:

$$d = \sqrt[3]{\frac{1000 P}{\sigma R}}$$

Donde:

P (H) = poder transmitido, en Kw.

R = revoluciones por minuto.

σ = Resistencia a la tracción mínima del material del eje, en N/mm² (Kgf/mm²) pero que no exceda 1100 N/mm² (112 Kgf/mm²).

En cuanto al eje de propulsión, si este es con motor a popa, el diámetro del collarín del eje de propulsión transmitiendo torque o en sentido axial del cojinete, donde un cojinete de rodamiento es utilizado como un cojinete de empuje, no debe ser menor al requerido para la fórmula de ejes intermedios con $k = 1,1$. Para estos propósitos σ = resistencia a la tracción mínima del material del eje en N/mm² (Kgf/mm²)

Para el caso del eje de cola cuando el motor es a proa, el diámetro, d_p del eje de cola delante de la cara del núcleo de la hélice o delante de la cara del flange del eje, no debe ser menor que el determinado por la siguiente fórmula^[7]:

$$d_p = \sqrt[3]{\frac{1,26 P}{R \sigma}}$$

Donde:

$$k = 1,26$$

P (H) = poder transmitido, en K_w .

R = revoluciones por minuto.

σ = Resistencia a la tracción mínima del material del eje, en N/mm^2 (Kgf/mm^2)

pero que no exceda $600 N/mm^2$ ($61 Kgf/mm^2$).

Los ejes de cola, hechos de materiales no resistentes a la corrosión deben ser especialmente considerados.

Para ejes de materiales no resistentes a la corrosión y estén expuestos al agua de mar, el diámetro del eje es determinado con la fórmula anterior con un valor de $k = 1,26$ y $\sigma = 400 \text{ N/mm}^2$ (41 kgf/mm^2).

Para ejes huecos o aligerados, si esto ocurre en el eje de empuje, intermedio y de cola, el diámetro exterior del eje no debe ser menor al dado en la siguiente fórmula^[7]:

$$\frac{d_o^3 - d_i^3}{d_o - d_i} \geq d$$

Donde:

d_o = diámetro exterior, en mm.

d = diámetro, por reglas, para un eje sólido, en mm.

d_i = diámetro del agujero central, en mm.

Sin embargo, cuando la relación entre el diámetro del agujero y el diámetro exterior no exceda a 0,4, no necesita ser incrementado más que el dado por las reglas.

Para las bridas también denominadas acoples, el espesor mínimo de los flanges de acoplamiento debe ser igual al diámetro de los pernos de acoplamiento en la cara del acoplamiento como es requerido por la ecuación siguiente, y para este propósito la resistencia a la tracción de los pernos se toma como equivalente a la del eje. Para ejes intermedios y ejes de propulsión el espesor del flange de acoplamiento no debe ser menor a 0,20 del diámetro del eje intermedio como es requerido por la fórmula antes dada.

El diámetro del acoplamiento de pernos no debe ser menor al obtenido por la siguiente fórmula^[7]:

$$\frac{P(H)}{n \sigma} \leq t$$

Donde:

n = número de pernos en el acoplamiento.

d = diámetro del agujero donde van los pernos, en mm.

σ = resistencia a la tracción mínima de pernos, en N/mm².

P(H) y R han sido definidos en párrafos anteriores.

Para las camisas de bronce, el espesor t, de las camisas de bronce para ejes no debe ser menor al calculado en la siguiente fórmula^[7]:

Donde:

t = espesor de la camisa, en mm.

D = diámetro del eje bajo la camisa, en mm.

El espesor de una camisa continua entre bushes no debe ser menor que 0,75t.

(bushes = anillos de fondo de prensa estopa).

Las camisas deben ser preferentemente de una sola pieza. Cada camisa continua debe ser testeada por presión hidráulica, presión a 2,0 bar (2,0 kgf/cm²).

Para la confección de la chaveta y el chavetero, el área de sección efectiva de la chaveta en corte, no debe ser menor que:

Donde:

d = diámetro, en mm requerido para el eje intermedio determinado de acuerdo a la fórmula anteriormente mencionada, calculado con una resistencia a la tracción de 400 N/mm² (41 kgf/mm²) y k=1.

d₁ = diámetro del eje en la mitad de la chaveta, en mm.

b) BUREAU VERITAS

Esta Sociedad Clasificadora, menciona sobre los pernos de los acoplamientos o las bridas que son de acero forjado. Este es el uso común los cuales cuando se compran en las ferreterías se les denomina por el material y el grado. Por ejemplo se compra perno acerado grado 8 o perno acerado grado 13 siendo identificado por la nomenclatura en la cabeza del mismo. En general recomienda la Clase, que la resistencia a la tracción del material de los pernos debe estar dentro de los siguientes parámetros:

$$R_m \quad R_{mb} \quad 1,7 R_m.$$

$$R_{mb} \quad 1000 \text{ N/mm}^2.$$

Para el eje intermedio y eje propulsor, el mínimo diámetro del eje intermedio y de propulsión, no puede ser menor al obtenido en la siguiente fórmula^[2]:

$$\text{-----} \quad \text{-----}$$

Donde:

Q = 0 en caso de ejes sólidos.

Q = relación entre el diámetro del agujero y el diámetro exterior del eje en el caso de ejes huecos.

Cuando $Q > 0,3$; Q se toma = 0.

$F = 95$ para sistema de propulsión diesel con acoplamientos tipo .slip coupling., turbinas o motores eléctricos.

$F = 100$ para sistema de propulsión diesel con otro tipo de acoplamientos.

k = Factor a exhibir a continuación que depende del diseño del eje.

Para el eje intermedio:

$k = 1,0$ con acoplamientos de flanges integrados.

$k = 1,1$ cuando existe chavetero. Donde el radio de la sección transversal desde el fondo de la chaveta, no debe ser menor que $0,0125d$. usando $k = 0$, para el cálculo de d .

$k = 1,1$ cuando el eje presenta agujeros transversales o radios taladrados. Valor aplicable en caso que el diámetro del taladrado (agujero) no exceda $0,3d$.

$k = 1,2$ cuando el eje presenta ranuras longitudinales. Valor normalmente aplicable en caso que la longitud de la ranura no exceda $1,4d$ y un ancho no superior a $0,2d$.

Para eje propulsor:

$k = 1,1$ resumidos para todos los casos.

n = velocidad de rotación del eje, en r.p.m. correspondiente a la potencia P .

P = Máxima potencia continua de la maquinaria de propulsión, en K_w .

R_m = Valor de la resistencia a la tracción mínima del material, en N/mm^2 .

Procurar no ingresar una R_m superior a $800 N/mm^2$.

Para el eje de cola el mínimo diámetro del eje de cola no debe ser menor al valor d_p , calculado por la siguiente fórmula^[2]:

$$\text{-----} \quad \text{-----}$$

Donde:

R_m = Para el cálculo de d_p , el valor de resistencia a la tracción no debe ser mayor a $600 N/mm^2$.

En casos de aceros inoxidable y otros casos particulares, por discreción de la sociedad clasificadora, el valor de R_m a ser introducido en la fórmula será especialmente considerado. En general, el diámetro de la parte del eje de cola ubicado adelante del tubo codaste, puede ser gradualmente reducido al diámetro al diámetro del eje intermedio.

k_p : Factor cuyo valor, dependiendo de las diferentes características de construcción del eje.

$k_p = 1,26$ eje de cola con chaveta.

$k_p = 1,22$ cuando el eje de cola es incorporado directamente en el núcleo de la hélice.

$k_p = 1,22$ Cuando el eje de cola tiene camisa continua, y el tubo codaste es lubricado por agua o aceite.

$k_p = 1,22$ cuando no es ninguno de los casos anteriores.

$k_p = 1,15$ en algún otro caso.

Las camisas u otros revestimientos de protección son requeridos por la Casa Clasificadora cuando el material del eje no es resistente a la corrosión. Las camisas de metal son generalmente continuas; sin embargo camisas discontinuas consistentes en dos o más partes pueden ser aceptadas cuando son puestos en sentidos de todos los descansos. La porción del eje entre camisas, probablemente llega a entrar en contacto con el agua de mar, es protegida con un revestimiento de material apropiado, los métodos y espesores serán aprobados por la casa clasificadora.

El espesor de la camisa en eje de cola o eje intermedio dentro del tubo codaste, no debe ser menor que el valor t , dado en la siguiente fórmula^[2]:

Donde:

d = diámetro actual del eje, en mm. En el tubo codaste, el espesor puede ser reducido en un 25%.

Para los tubos codastes son aceptados cojinetes de metal antifricción lubricados por aceite y por grasa. También son aceptados cojinetes de materiales plásticos y sintéticos.

Los acoplamientos de ejes intermedios, de cola y propulsor no deben tener un espesor menor a 0,2 veces el diámetro de un eje intermedio sólido y no menor que el diámetro de los pernos de acoplamientos calculados para una resistencia a la tracción igual a la del eje.

El radio del flange sólido, no debe ser menor que 0,08 veces el actual diámetro del eje.

Para ejes intermedios, de cola y propulsor, el diámetro de los pernos de acoplamiento no debe ser menor al dado por la siguiente fórmula^[2]:

Donde:

d = diámetro de eje sólido, en mm.

n_b = número de pernos de acoplamiento.

D_c = diámetro de pernos de acoplamientos, en mm.

R_m = valor de la resistencia a la tracción del eje, en N/mm².

R_{mb} = valor de la resistencia a la tracción del material de los pernos de acoplamiento, en N/mm².

2.3 Clasificación de las propuestas de reparación.

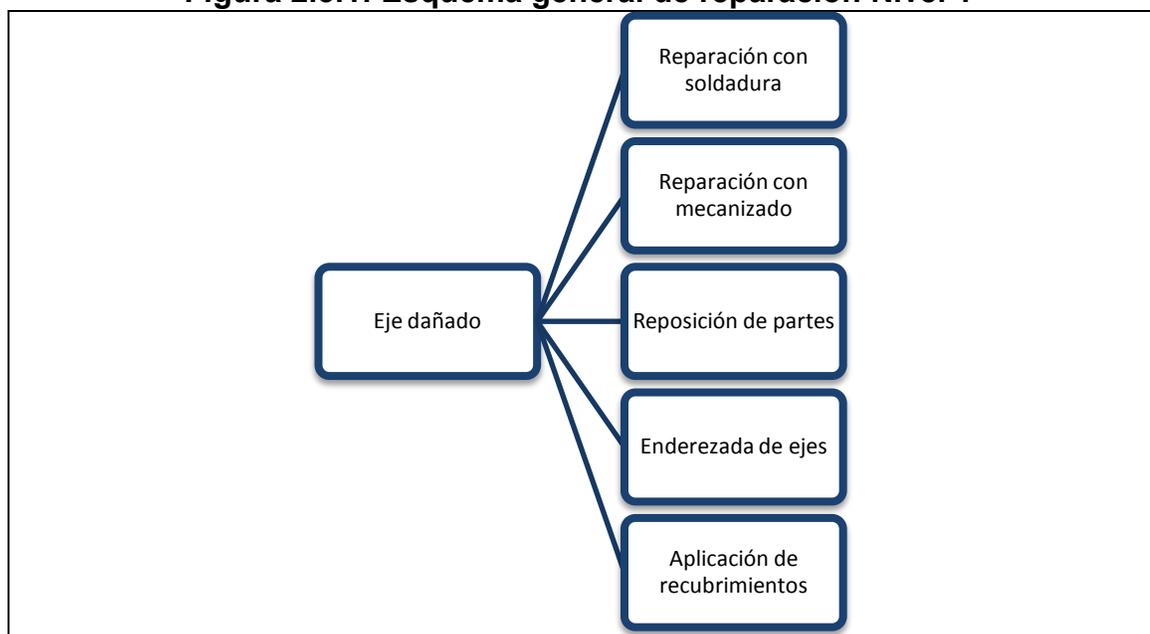
Las propuestas para reparación para los sistemas antes indicados, con las herramientas presentadas se ajustan a las siguientes áreas de trabajo:

- a) Reparaciones realizadas con soldadura.
- b) Reparaciones que requieren mecanizado.
- c) Reparaciones que requiere reposición de partes.

- d) Enderezada de ejes.
- e) Aplicación de recubrimientos.

Y se esquematizan de la siguiente manera.

Figura 2.3.1: Esquema general de reparación Nivel 1



Fuente: Personal, Observaciones durante reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013

De este esquema se derivan los siguientes trabajos:

- a) Reparación con soldadura.
 - Rellenar interior de brida.
 - Rellenar puño de descanso.

b) Reparación con mecanizado.

- Rectificar exterior de brida.
- Rectificar interior de brida.
- Refrentar cara de la brida.
- Pulir puño de descanso.
- Rectificar camisa lado interior.
- Rectificar camisa lado exterior.
- Hacer nuevo hilo de tuerca.
- Rectificar cono.
- Pulir eje completo.

c) Reposición de partes.

- Nueva chaveta o cuña.
- Cambio de camisa.
- Cambio de brida.

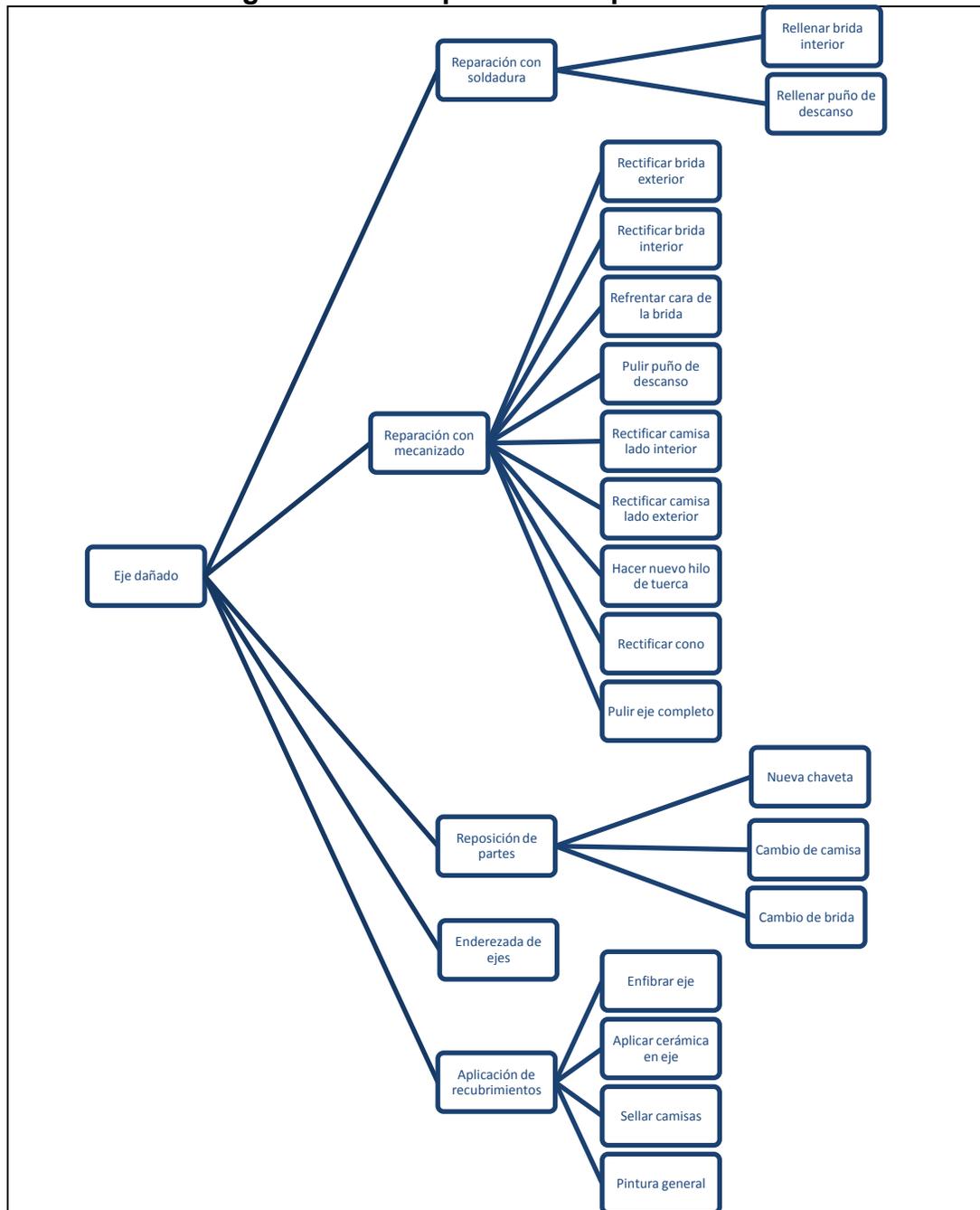
d) Enderezada de ejes.

e) Aplicación de recubrimientos.

- Proteger con resina y fibra de vidrios el cuerpo expuesto del eje.
- Aplicar cerámica en eje.
- Sellar camisas.
- Pintura general.

Los trabajos a cumplir se esquematizan todos en la **Figura 2.3.2: Propuesta de reparación Nivel 2.**

Figura 2.3.2: Propuesta de reparación Nivel 2



Fuente: Observaciones durante reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

CAPITULO 3: PLAN PARA REPARAR LOS EJES DE PROPULSIÓN

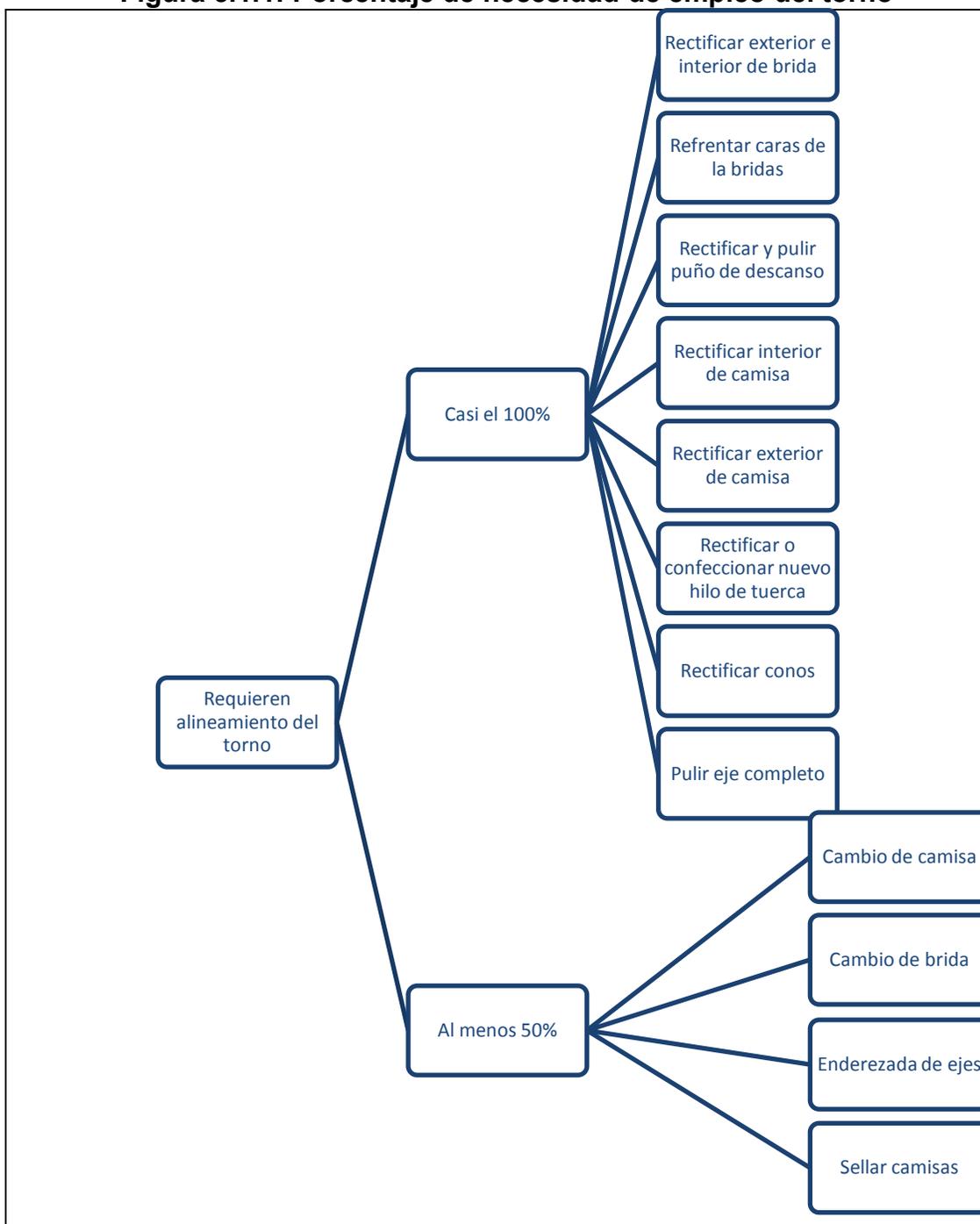
3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.

Definidos los esquemas de reparación, muchos de ellos requieren la utilización del torno. Entre los trabajos que se realizan empleando esta herramienta están los siguientes:

- Rectificar exterior e interior de brida.
- Refrentar caras de la bridas.
- Rectificar y pulir puño de descanso.
- Rectificar camisa lado interior.
- Rectificar camisa lado exterior.
- Rectificar o confeccionar nuevo hilo de tuerca.
- Rectificar conos.
- Pulir eje completo
- Cambio de camisa.

- Cambio de brida.
- Enderezada de ejes.
- Sellar camisas.

Los cuales se han organizado de acuerdo a la **Figura 3.1.1: Porcentaje de necesidad de empleo del torno**. Esto asigna la importancia que tiene esta tarea de alineamiento del mismo con relación al esquema de trabajo propuesto.

Figura 3.1.1: Porcentaje de necesidad de empleo del torno

Fuente: Personal, Observaciones durante reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Para alinear un eje en el torno y chequear su deflexión o su torcedura, se deben cumplir estrictamente los siguientes procedimientos.

- a) Preparar torno en maestranza.
- b) Colocar las lunetas.
- c) Montar el eje en el torno.
- d) Desmontar fibra de vidrio o protección en lunetas (sólo en zona donde trabajan las lunetas).
- e) Comprobar torsión con comparador de esfera.
- f) Enderezar o alinear el eje.
- g) Verificar trabajo con comparador de esfera.
- h) Desmontar eje del torno.

En la **Figura 3.1.2: Eje alineado en el torno**, se observa un eje alineado en el torno, con las lunetas sujetándolo en su parte central. En este caso, este eje no tiene protección de fibra de vidrio y por ello se lo puede ver completamente limpio.

Figura 3.1.2: Eje alineado en el torno



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

En el caso de realizar una reparación completa con cambio de camisas en caliente, a modo de ejemplo se muestran los pasos a seguir desde el inicio al término de la reparación, haciendo notar las partes del trabajo en la cual se realizar la alineación en el torno en base al esquema de trabajos propuestos.

- a) Prepara el torno en maestranza del astillero.
- b) Montaje del eje deseado en el torno.
- c) Se verifica la deflexión. Si las deflexiones están dentro o no de los parámetros máximos de tolerancia lo determina el Armador o la Casa

Clasificadora, quienes deciden también el método para enderezar el eje (con proceso en caliente o en frío).

- d) Se debe verificar las medidas del eje, y al igual que lo mencionado anteriormente, de las reglas de la sociedad clasificadora se procede a decidir si están sus tolerancias dentro del parámetro.
- e) Confección del cono de la hélice o brida (si la tuviera), en caso de ser eje de cola.
- f) Cambiar porta herramientas del torno.
- g) Se trabaja para la realización del hilo del cono de eje.
- h) Verificar la confección del hilo de la tuerca.
- i) Desmontar eje del torno para llevarlo a la fresa.
- j) Preparar la fresa.
- k) Se monta eje de cola en fresa.
- l) Se realiza confección del chavetero de proa del eje.
- m) Verificar medidas del chavetero.
- n) Se desmonta el eje de cola de la fresadora y se cambia de lado para confección de chavetero de popa de eje.
- o) Se deben verificar las medidas del chavetero de popa.
- p) Desmontar eje de la fresa.
- q) Confeccionar chaveta de popa del eje.

- r) Preparar taladro.
- s) Montar el eje en taladro.
- t) Colocar chaveta en chavetero de popa del eje de cola.
- u) Perforar en forma simultánea chaveta y chavetero del eje para seguro de chaveta.
- v) Hacer en forma manual el hilo a la perforación de chavetero de popa del eje.
- w) Confección de las camisas de proa y popa del eje según medidas.
- x) Calentar camisa de bronce de proa y montar en el eje.
- y) Calentar camisa de bronce de popa y montar en el eje.
- z) Preparar torno para volver a montar el eje encamisado.
- aa) Montar eje de cola en torno.
- bb) Rectificar camisas del eje de cola. (proa y popa)
- cc) Verificar los diámetros de las camisas.
- dd) Pulir ambas camisas.
- ee) Forrar con el eje de cola con el material seleccionado (fibra de vidrio o pasta cerámica).
- ff) Desmontar eje del torno.

En otro tipo de trabajos, se puede requerir que el eje esté alineado en 3 puntos tal como se observa en la **Figura 3.1.3: Eje alineado suspendido en tres puntos**, el cual requiere una especial atención en que esté correctamente alineado.

Figura 3.1.3: Eje alineado suspendido en tres puntos



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Para verificar si el eje se encuentra alineado, se emplea el comparador mecánico cumpliendo los siguientes pasos:

- a) Se monta el comparador sobre la base y se apoya tomando un patrón o una superficie de referencia, la cual a veces se conoce como Mesa de Planitud^[9].
- b) Se aplica el comparador al patrón o elemento de referencia de nominal I_0 y se pone “en cero” el indicador del comparador. Desplazando sobre el plano de referencia el patrón y la pieza o bien el soporte con el comparador, se aplica el palpador del instrumento sobre el eje.
- c) Se toma la lectura del indicador (I_i) en dicha situación en que el palpador esté sobre el mensurando.
- d) Se calcula la medida del mensurando como medición indirecta, mediante la expresión:

$$I_m = I_0 + I_i.$$

- e) Se determina la incertidumbre de I_m como función de los elementos de la medición indirecta y de sus respectivas incertidumbres; esto es:

$$U(I_m) = f [I_0 ; I_i ; U(I_0) ; U(I_i)]$$

- f) Concretamente, en la medición básica aquí descrita, se tiene que:

$$U(I_m) = [U_2(I_0) + U_2(I_i)]^{1/2}$$

Como se mencionaba anteriormente, estos tienen dos tipos de escala y depende para el tipo de ajuste que se vaya a realizar.

- Comparadores con división de escala de 0,01 mm y campo de medida de hasta 10 mm.
- Comparadores con división de escala de 0,001 mm y campo de medida de hasta 5 mm.

Por su parte, el Procedimiento de calibración DI-010 del CEM^[9] considera también comparadores con división de escala menor de 0,001mm el cual se calibra con bloques patrón longitudinal^[10] y un patrón de planitud, procedimiento no recomendado para instrumentos en los que el alcance sea superior a 1000 veces la división de escala.

Es necesario verificar periódicamente la alineación en el torno porque se pueden producir pequeñas desviaciones, y va a perjudicar la calidad del trabajo.

Deben adicional seguirse las siguientes reglas de seguridad en cuanto a la operación del equipo:

- a) Verificar que la lubricación de la máquina sea la correcta antes de comenzar a trabajar.
- b) No golpee ninguna parte del torno con objetos metálicos.

- c) Antes de hacer funcionar la máquina, verifique que las manivelas de sus movimientos automáticos estén desconectados.
- d) Verifique que el montaje de la pieza es correcto y que esté firmemente sujeta antes de hacer funcionar el torno.
- e) Si el montaje es entre centros, verifique que el centro del punto fijo tiene lubricante.
- f) Al trabajar entre centro, también se debe verificar el contrapunto este bien sujeto.
- g) Cuando está muy apretado el contrapunto, este rechina.
- h) Volver a verificar la alineación entre puntos del torno.
- i) No trate de enderezar las piezas montadas en el torno, esto afecta al husillo y desalinea los puntos.

Figura 3.1.4: Eje en fresa para confección de chavetero



Fuente: Personal, Confección de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

En la **Figura 3.1.4: Eje en fresa para confección de chavetero**, se observa la forma como se ha colocado el eje de cola para confeccionar el chavetero donde va a ir la brida paralela que agarra con el contraeje.

Este chavetero cumple todas las características indicadas en la **Tabla ii** :
Norma UNE 17102 para chavetas.

3.2 Encamisados.

El trabajo del encamisado, en forma general requiere de los siguientes pasos previa la Inspección de la misma ver si requiere cambio o solo rectificada.

Si requiere rectificar se tienen los siguientes trabajos:

- a) Prepara torno en maestranza.
- b) Montar el eje de cola en el torno.
- c) Colocar las lunetas en el eje y alinear el eje según el procedimiento de 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- d) Tomar medidas de los diámetros de las camisas.
- e) Rectificar y pulir camisa de bronce.
- f) Verificar las medidas de los diámetros de las camisas.
- g) Desmontar eje del torno.

Si requiere cambio se tienen los siguientes trabajos:

- a) Colocar el eje sobre una superficie plana.
- b) Cortar la camisa de bronce con amoladora, nunca con oxicorte o acetileno ya que el excesivo calor que se aplica genera tensiones sobre la superficie del eje que podría crear cierto grado de cristalizado y si se enfría muy rápido de fragilizado.
- c) Prepara torno en maestranza.
- d) Montar el eje de cola en el torno.

- e) Colocar las lunetas en el eje y alinear el eje siguiendo el procedimiento 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno..
- f) Rectificar la zona donde estuvo la camisa para poderle dar una buena circularidad que permita tener una medida exacta.
- g) La medida debe tomarse circunferencialmente y verificar su alineamiento.
- h) Desmontar eje del torno.
- i) Proceder a maquinar la camisa dejando un ajuste de 2% del diámetro interior, es decir el diámetro exterior del eje es mayor que el diámetro interior de la camisa.
- j) Proceder a meter la camisa en el eje usando el método de calor o de frío. Con los dos métodos debe tenerse un ambiente controlado libre de corrientes de aire perniciosas.
- k) Esperar a que regrese a su temperatura ambiente de manera no forzada.
- l) Montar el eje de cola en el torno con la camisa ya rectificada siguiendo el procedimiento 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno. tal como se observa en el ejemplo de la **Figura 3.2.1: Camisa de bronce lista para maquinar.**
- m) Colocar las lunetas en el eje.
- n) Tomar medidas de los diámetros de las camisas.

- o) Rectificar y pulir camisa de bronce que debe quedar como el ejemplo de la **Figura 3.2.2: Camisa de bronce lista**
- p) Verificar las medidas de los diámetros de las camisas.
- q) Maquinar extremos para crear esquina de anclaje para colocar pasta cerámica que selle la unión camisa eje para prevenir la corrosión tal como se indicó en el capítulo anterior. Este borde se ve como ejemplo en la **Figura 3.2.3: Detalle de la unión camisa eje.**
- r) Se chequean imperfecciones con pulidora, aplicando muy leve para no perder circularidad o linealidad. Esto se ejemplifica en la **Figura 3.2.4: Pulida de imperfecciones.**
- s) Desmontar eje del torno.

Figura 3.2.1: Camisa de bronce lista para maquinar



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Figura 3.2.2: Camisa de bronce lista



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Figura 3.2.3: Detalle de la unión camisa eje



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 3.2.4: Pulida de imperfecciones



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Otro de los tipos de camisas comúnmente empleadas en los buques pesqueros, son de acero inoxidable. En la **Figura 3.2.5: Camisa de acero inoxidable** y la **Figura 3.2.6: Pulida de camisa de acero inoxidable**, se observan diferentes trabajos para este tipo de material, observando que muchas veces deben realizarse perforaciones para soldar las camisas al eje.

Figura 3.2.5: Camisa de acero inoxidable



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 3.2.6: Pulida de camisa de acero inoxidable



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Entro otros detalles, se observa en la **Figura 3.2.7: Puesta en caliente de camisa de bronce**, **Figura 3.2.8: Puesta en caliente en eje de camisa e** **Figura 3.2.9: Maquinado interior de camisa**, todo el proceso de puesta en caliente de una camisa de bronce.

Este trabajo por el ajuste de milésimas que se da al material, es muy delicado su manejo y debe realizarse también bajo un ambiente controlado, ya que las corrientes de aire pueden enfriar muy rápido el material, dificultar su puesta y hasta producirle trizaduras por cambios bruscos de temperatura.

Figura 3.2.7: Puesta en caliente de camisa de bronce



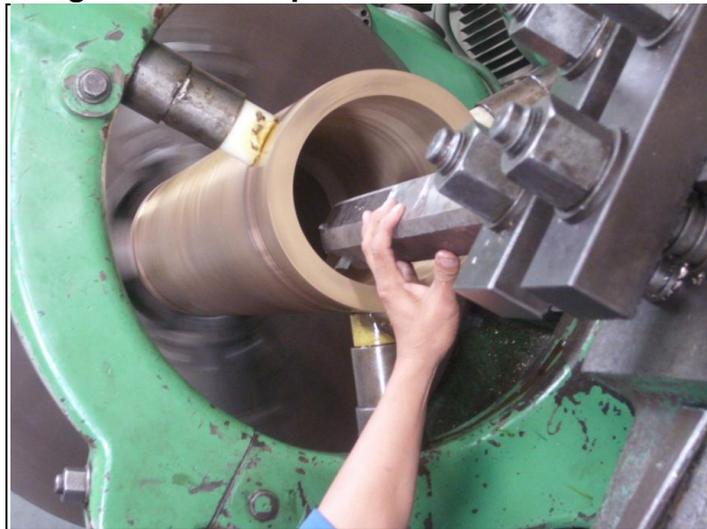
Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Figura 3.2.8: Puesta en caliente en eje de camisa



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Figura 3.2.9: Maquinado interior de camisa



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

3.3 Trabajos de rectificada y refrendada.

Estos trabajos corresponden a todos los trabajos que no son de las camisas, y que fueron definidos en el 2.3 Clasificación de las propuestas de reparación.

Reparación con soldadura, rellenar interior de brida, exterior y rectificar.

- a) Se desmonta la brida del eje empleando temperatura o presión de una prensa.
- b) Se la lleva al torno y se centra para verificar deflexiones.
- c) Si la brida es nueva, se omite en b) la verificación de deflexiones y se centra tal como se ve en la **Figura 3.3.1: Brida lista para rectificar** en la cual como ejemplo se observa una brida nueva en proceso de alineamiento.
- d) Se procede a maquinar su interior con la cuchilla para limpiar la superficie de impurezas y observar porosidades.
- e) En el caso de que el material sea nuevo, se pasa directamente al punto i).
- f) Se desmonta la brida del torno.
- g) Se aplica soldadura dependiendo del tipo de material de la brida con cordones longitudinales en cruz, permitiendo que se enfríe la pieza entre cordón y cordón para evitar deformaciones.

- h) Una vez concluida la soldadura se vuelve a montar en el torno y se alinea de los extremos.
- i) Se maquina el interior y se inspecciona.
- j) Si quedan más del 10% de porosidades, se vuelve a repetir el proceso desde e) hasta que quede bien.
- k) Se verifica el ajuste interior de acuerdo a la medida del eje rectificado.
- l) Si tiene chavetero, se procede a confeccionar el chavetero y la cuña.
- m) En el caso de que se requiera, se maquina la cara exterior de la brida hasta la medida deseada. A modo de ejemplo se presenta la **Figura 3.3.2: Brida en proceso de rectificada**
- n) Debe en la misma posición a 90° , la cuchilla trabajar en las caras perpendiculares tal como se muestra en la **Figura 3.3.3: Posición de las cuchillas**, en la cual se puede apreciar como ejemplo la ubicación de las mismas.
- o) Se prueba el ajuste de la brida si es necesario con pasta azul de Prusia. A modo de ejemplo se muestra este proceso en la **Figura 3.3.4: Acople de brida y trabajos finales**, en la cual se está realizando este tipo de trabajo en bridas cónicas.
- p) Se procede a montar en el eje, por proceso de calor, las bridas paralelas o partidas, calentando la brida para que dilate y entre.

- q) En caso de bridas paralelas, se procede a la perforación del o los seguros tangentes.

Figura 3.3.1: Brida lista para rectificar



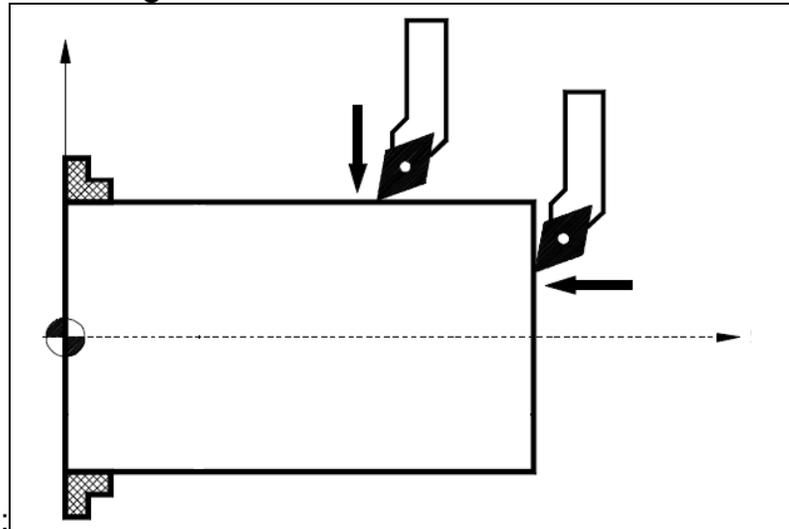
Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 3.3.2: Brida en proceso de rectificada



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2012.

Figura 3.3.3: Posición de las cuchillas



Fuente: Imagen de www.googleimágenes.com.

Figura 3.3.4: Acople de brida y trabajos finales



Fuente: Personal, Reparación de ejes-Astillero Maridueña. Año 2013.

Reparación con soldadura, rellenar puño de descanso.

- a) Montar el contraeje en el torno.
- b) Proceder a maquinar hasta eliminar todas las impurezas.
- c) Aplicar soldadura en cruz, es decir a 180° cada cordón del anterior en forma longitudinal hasta que se complete toda la superficie. El torno permite rotar el eje. Entre cordón y cordón se deja enfriar el eje para evitar cambios mecánicos en su configuración.
- d) Proceder a maquinar a la medida original del eje, y verificar las porosidades, grietas o socavaciones.
- e) Si existe mayor del 10%, volver a repetir desde c).
- f) Alinear el eje en el torno según el procedimiento 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- g) Proceder a pulir para eliminar la fricción con el descanso.
- h) Desmontar el eje del torno.

Reparación con mecanizado, refrentar caras de la bridas.

- a) Una vez concluido los trabajos de ajuste de las bridas, se coloca el eje en el torno.

- b) Se alinea el eje en el torno según el procedimiento indicado en 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- c) Proceder a maquinar la superficie de las caras de la brida colocando las cuchillas a 90^0 perpendicular a la longitudinal. Esto garantiza que ambas caras de las bridas quedan perpendiculares al eje.
- d) La rectificadora es menos del 2% del espesor de la brida, ya que disminuciones mayores pueden afectar la longitud total de la línea de ejes y por ende la posición de la hélice en el codaste.
- e) Se procede a desmontar el eje del torno.

Reparación con mecanizado, hacer nuevo hilo de tuerca.

- a) Se procede a colocar el eje en el torno.
- b) Si no estaba alineado, alinear el eje de acuerdo al procedimiento presentado en 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- c) Con el torno programado para la confección de rosca, se maquina la nueva aprovechando los hilos que quedaron de la medida anterior. Se menciona que se programa el torno, porque actualmente los talleres de maestranza naval deben contar con máquinas de primera generación para minimizar tiempo de ejecución y entrega de trabajos (ya quedaron a la historia los tornos manuales).

- d) Se verifica el término de los trabajos y se desmonta el eje del torno.
- e) Generalmente la confección de un nuevo hilo por la disminución del diámetro exterior e interior de la rosca, va acompañado de la confección de una nueva tuerca.

Reparación con mecanizado, rectificar cono.

- a) Se verifica la existencia de imperfecciones en el cono del eje.
- b) Se monta en el torno.
- c) Se procede alinear el eje en el torno siguiendo el procedimiento mostrado en 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- d) Se verifica la concetricidad del cono, es decir, que no se encuentre desalineado el centro de la tuerca con relación al eje.
- e) Si la concetricidad falla, se descarta el eje, ya no sirve.
- f) Si no hay novedad, se pule el cono al menos un 3% de su diámetro.
- g) Rectificaciones de valores mayores traen problemas, ya que la pieza hembra (sea hélice o una brida), ingresa mucho en el cono (perdiendo el “tiro” mínimo del sistema).
- h) Se verifica los trabajos y se desmonta el eje del torno.

Reparación con mecanizado, pulir eje completo.

- a) Montar el eje en torno.
- b) Verificar alineamiento siguiendo el procedimiento mostrado en 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- c) Pasar la cuchilla a los largo de toda la distancia entre camisas o puños de descansos hasta que desaparezcan las imperfecciones.
- d) Generalmente se ha realizado sandblasting primero al eje.
- e) La profundidad de la cuchilla no debe exceder el límite permitido por la sociedad clasificadora para disminución de diámetro de acuerdo con las fórmulas expuestas en 2.2 Estimación de dimensiones empleando las reglas de las sociedades clasificadoras.
- f) Desmontar eje del torno.

Reposición de partes, nueva chaveta.

- a) Confeccionar según muestra de acuerdo a la norma presentada en la **Tabla ii : Norma UNE 17102 para chavetas.**
- b) Verificar dimensiones en el chavetero.
- c) La chaveta debe ingresar con ligeros golpes y nunca quedar suave en el ajuste.

Enderezada de ejes.

- a) Montar el eje en el torno.
- b) Alinearlo de acuerdo a lo indicado en 3.1 Parámetros de alineamiento del eje en el torno.
- c) Proceder a aplicar gata, fijando el eje a la base principal del winche para no afectar el cabezal.
- d) Verificar deflexiones y repetir el punto c).
- e) La tolerancia de deflexión va a depender de la sociedad clasificadora y una vez cumplidos los mínimos requisitos exigidos se procede a desmontar el eje del torno.

Aplicación de recubrimientos.

- a) Este trabajo se ejecuta al final de las reparaciones, previo al traslado de los ejes al buque.
- b) En taller, con el eje limpio (con preparación de superficies mecánica o hasta química según sea el caso) aplicar pintura, cerámicos o resina y fibra de vidrio para proteger en las zonas donde no trabaja ninguna camisa o descanso.

- c) Si se aplica recubrimientos cerámicos, el eje debe de estar en el torno y girando hasta que se encuentre “seco”. Quitar excedentes en caso de ser necesario.
- d) Esperar que esté seco al manipuleo para ser retirado de la maestranza naval.

3.4 Perspectivas a futuro.

- a) Incentivar a los ingenieros, para que la ejecución de los trabajos se normalice según los estándares y se incentiven a escribir así mismo de forma técnica los procedimientos aplicables a su área.
- b) Del presente trabajo, puede derivarse un estudio comparativo de ver cómo afectan los diferentes ajustes a los cálculos de ingeniería que se realizan para dimensionar los ejes. Ya que existe poca bibliografía sobre lo que se logra teniendo un mayor o menor ajuste en las piezas acopladas a los ejes.
- c) Es factible que se ahonde más en el proceso para colocar las camisas de los ejes con el sistema de nitrógeno, efectuándose estudios mecánicos de cuánto afecta este procedimiento a la calidad del material.

- d) Existe muy poca bibliografía sobre lo que ocurre cuando las camisas de bronce se calientan para ser ingresadas a los ejes, y cuánto esto afecta a la calidad y a la duración del trabajo y si la hace más susceptible a las corrientes galvánicas.

- e) Estudios sobre fatiga de los ejes debido a los cambios de masa en su longitud no hay al respecto, y sería muy interesante derivar de este trabajo una investigación de cuarto nivel sobre un eje ya montado sus bridas y camisas cuánto ha variado su esfuerzo a la fatiga.

- f) Definidos los trabajos y los procesos, se puede plantear un proceso productivo para mejorar el tiempo de uso de los equipos. Por ejemplo, cuando llega un buque pesquero con motor a proa a repararse a la maestranza naval, son a veces 4 ejes que esperan ser atendidos. Como el proceso ya está establecido, los mismos operarios se reparten el trabajo en forma sincronizada disminuyendo los tiempos de reparación de los ejes y por ende una mejor ayuda al armador.

CONCLUSIONES

1. La reparación de ejes de propulsión de barcos pesqueros es uno de los temas más importantes en el funcionamiento mecánico de la embarcación, ya que de ella depende la vida útil de la misma y su seguridad.
2. Los tratamientos que se dan al eje de cola son los mismos que deben darse a los contraejes, ya que trabajan de igual forma con bridas, encamisados en algunos casos, puntas cónicas para acoples y apoyo de descansos.
3. El alineamiento del eje en el torno, es el pilar fundamental para obtener buenos trabajos y se considera como “buenas prácticas de reparación” el de cumplir con este punto de la mejor forma posible.
4. Del levantamiento de la información, se concluye que la mayor causa de daños de ejes es por sobreesfuerzos de la hélice, debido a las

contramarchas, es decir los movimientos bruscos de adelante y atrás durante las maniobras de los pesqueros.

5. Para que el procedimiento se cumpla, debe adiestrarse en instruirse a los operarios en el empleo de las herramientas adecuadas y dar una supervisión por parte de los Ingenieros Navales a cargo.
6. El conocimiento de las máquinas y herramientas es muy importante para una buena consecución de los trabajos. Un tornero que sea paciente, minucioso, acucioso y detallista conseguirá mejores resultados que el tornero desesperado, sin tiempo y deseoso solo de ganar su salario.
7. El proceso de encamisado de ejes, requiere de precisión para no dañar la camisa, y debe realizarse siempre en ambientes de temperatura controlada para estar lejos de corrientes de aire perniciosas al proceso.
8. Los pasos indicados para cada uno de los procedimientos, son los mínimos a realizar e incrementar pasos adicionales debería mejorar los buenos resultados obtenidos en la reparación.
9. Por el peso de los equipos, se debe seguir el procedimiento en orden, ya que resulta en tiempo y costo económico el estar moviendo las partes arriba y debajo de los tornos.

RECOMENDACIONES

1. El sobreesfuerzo corresponde a la mayor cantidad de daños de ejes, por lo cual se recomienda realizar la revisión mediante las fórmulas de las Sociedades Clasificadoras, de los diseños existentes para hacerles las mejoras respectivas.
2. Debe considerarse en la selección del material, el problema de la fatiga, ya que el continuo cambio de marcha de los pesqueros es una de las causas de este tipo de daño.
3. La guía que se propone no es absoluta ni suficiente, pero si adecuada para comenzar, trabajar y concluir la reparación de ejes de propulsión de una forma técnica y segura.
4. Se recomienda a futuros ingenieros que empleen estos procedimientos, que complementen con informes sobre resultados que incluyan las buenas prácticas de reparación.
5. Se deben aplicar cursos de formación complementarios a estos procedimientos, para que los operarios e Ingenieros Navales a cargo de

las maestranzas en astilleros, lleven a cabo el correcto uso de los equipos de medición y calibración adecuados.

6. Se recomienda siempre tener un ambiente controlado para los trabajos, es decir libre de viento, a una temperatura ambiente adecuada y con el porcentaje de humedad no muy alto.
7. Es conveniente llevar un registro de la calibración de equipos de medición, ya que el presente procedimiento considera que los equipos están libres de falla u error.
8. En cada carena se debe cambiar el recubrimiento de fibra, si la tuviere, para detectar a tiempo socavaciones o pittings que se puedan presentar.

APÉNDICE 1

TABLA DE NORMALIZACION DE CHAVETAS Y CHAVETEROS

CHAVETAS DIN 6888

MEDIDA NOMINAL DE 5x6,5x16 A 10x16x45

Designación de una lengüeta redonda de anchura $b = 8$ mm. y altura $h = 11$ mm de ... 1)
Lengüeta redonda 8x11 DIN 6888 . . . 1)

Coordi- nación 2)	I	Para diámetro de eje d1	más de	12				17				22				30				
			hasta	17				22				30				38				
	II	Para diámetro de eje d1	más de	22				30				--				--				
			hasta	30				38				--				--				
Lengüeta redonda	Sección (Acero media caña DIN 6882)	Anchura	b h9	5				6				8				10				
			dif. adm.	-0,030				-0,030				-0,036				-0,036				
	Altura	h h12	6,5	7,5	9	7,5	9	(10)	11	9	11	13	11	13	16					
		dif. adm.	-0,150	-0,150	-0,150	-0,150	-0,150	-0,150	-0,180	-0,150	-0,180	-0,180	-0,180	-0,180	-0,180					
	Diámetro	d2	16	19	22	19	22	25	28	22	28	32	28	32	45					
		dif. adm.	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2					
	Chafilán o redondeado 3)	r1	0,4				0,4				0,4				0,6					
		dif. adm.	+0,2				+0,2				+0,2				+0,2					
	Longitud l ≈			15,72	18,57	21,63	18,57	21,63	24,49	27,35	21,63	27,35	31,43	27,35	31,43	43,08				
	Peso (7,85 kg/dm ³) kg/1000 pzas. ≈			3,01	4,09	5,73	4,91	6,88	8,64	10,6	9,17	14,1	19,28	17,6	24,1	39,9				
Chavetero del eje	Anchura	Asiento fijo P9	Máxima	4,988				5,988				7,985				9,985				
			Minima	4,958				5,958				7,949				9,949				
	Anchura b 4)	Asiento fijo P9	Máxima	5,000				6,000				8,000				9,985				
			Minima	4,958				5,958				7,949				9,949				
	Asiento ligero N9	Máxima	5,000				6,000				8,000				10,000					
		Minima	4,970				5,970				7,964				9,964					
	Profun- didad t1 5)	Serie A 6)		4,5	5,5	7,0	5,1	6,6	7,6	8,6	6,2	8,2	10,2	7,8	9,8	12,8				
		Serie B 7)		5,4	6,4	7,9	6,0	7,5	8,5	9,5	7,5	9,5	11,5	9,1	11,1	14,1				
		Dif. adm. para A y B		+0,1	+0,1	+0,2	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2				
	Diámetro	d2		16	19	22	19	22	25	28	22	28	32	28	32	45				
Dif. adm.		+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,1	+0,2	+0,2	+0,1	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2	+0,2						
Chavetero del cubo	Anchura b 4)	Asiento fijo P9	Máxima	4,988				5,988				7,985				9,985				
			Minima	4,958				5,958				7,949				9,949				
		Asiento ligero J9 8)	Máxima	5,015				6,015				8,018				10,018				
			Minima	4,985				5,985				7,982				9,982				
	Profun- didad t2 5)	Serie A 6)		2,1				2,5				2,9				3,3				
		Dif. adm. para A y B		+0,1				+0,1				+0,1				+0,2				
		Serie B 7)		1,2				1,6				1,6				2,0				
		Dif. adm. para B		+0,1				+0,1				+0,1				+0,1				
	Redondeado del fondo del chavetero			r2	0,4				0,4				0,4				0,4			
				Dif. adm.	-0,2				-0,2				-0,2				-0,2			

APÉNDICE 2

NORMA UNE PARA CLASIFICACIÓN DE INSTRUMENTOS METROLÓGICOS

<i>Clasificación CEM</i> CATEGORÍA/Grupo	<i>Procedimientos para la</i> <i>calibración del CEM</i>	<i>Normas UNE</i>
D 01. PATRONES DE LONGITUD		
D.01.01. Lámparas patrón de longitud de onda		
D.01.02. Bloques patrón longitudinales	Procedimiento DI-014 para la calibración de bloques patrón longitudinales por comparación mecánica	UNE-EN ISO 3650:2000 “Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón”
D.01.03. Accesorios para bloques patrón longitudinales		
D.01.04. Columnas verticales de bloques patrón		UNE 82318:1994 “Micrómetros verticales y peanas”
D.01.05. Barras patrón de extremos		
D.01.06. Patrones cilíndricos de diámetro	Procedimiento DI-016 para la calibración de patrones cilíndricos de diámetro interior y exterior	
D.01.07. Bolas patrón		
D.01.08. Reglas patrón	Procedimiento DI-013 para la calibración de reglas patrón de trazos	
D.01.09. Angulares patrón		
D.01.10. Bolas patrón seccionadas		
D.01.11. Columnas de bloques patrón escalonados		
D.01.12. Cubos patrón de posicionamiento		
D.01.13. Interferómetros		
D.01.14. Láminas patrón de espesor		
D.01.15. Sistemas interferométricos láser de medida		
D.01.16. Paralelas patrón		
D.01.17. Patrones de diámetro interior de tres planos		
D.01.18. Láseres estabilizados		

APÉNDICE 3

CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN USADOS EN EL TORNO

La calibración de un instrumento, o método de medición, en un punto de su escala de medida consiste en la realización de n_c mediciones reiteradas sobre un patrón de valor x_0 e incertidumbre u_0 (o también, U_0 para un factor de incertidumbre o factor de recubrimiento k_0), con las siguientes peculiaridades:

n_c debe ser en todo caso igual o mayor que 5 y en Metrología Dimensional suele ser 10.

La calibración proporciona las medidas: x_{ci} ($i = 1, 2, \dots, n_c$).

Las medidas de la calibración de un instrumento o patrón se realizan bajo condiciones de repetitividad, esto es: mismo mesurando, mismo equipo, mismo método de medida, mismo lugar, mismas condiciones ambientales y en un intervalo de tiempo lo suficientemente pequeño.

Los resultados que se extraen del proceso de calibración son los siguientes:

x_{ci} : medidas de calibración ($i = 1, 2, \dots, n_c$)

x'_c : media aritmética de las medidas de calibración ($x'_c = \sum x_{ci} / n_c$)

s_c : desviación típica de las medidas de calibración

$\Delta x_c, C_c$: corrección o ajuste de calibración ($\Delta x_c = x_0 - x'_c$)

u_c : incertidumbre asociada a la determinación de la corrección de calibración (Δx_c) o incertidumbre de calibración. Como la determinación de x_0 tiene asociada la varianza u_0^2

y la de x'_c una varianza de valor s_c^2 / n_c ; la evaluación de la corrección de calibración ($\Delta x_c = x_0 - x'_c$) llevará asociada una varianza: $u_c^2 = u_0^2 + s_c^2 / n_c$

U_c : incertidumbre expandida de calibración para un factor de incertidumbre o factor de recubrimiento k_c ($U_c = k_c \cdot u_c$)

Medición.- Por su parte un proceso de medición, en sentido estricto, se basa en la realización de n_m mediciones reiteradas (generalmente $n_m \leq 3$ y frecuentemente $n_m = 1$), sobre un mensurando; teniéndose las siguientes características:

La medición proporciona las medidas: x_{mj} ($j = 1, 2, \dots, n_m$).

Las medidas efectuadas en cada proceso de medición se realizan bajo condiciones de repetitividad (ello sólo tiene sentido en los casos en que sea $n_m > 1$), si bien el conjunto de los distintos procesos de medición realizados con un

cierto equipo suelen realizarse bajo condiciones de reproducibilidad (entre ellos y también en relación con las correspondientes calibraciones), esto es: mismo equipo y mismo método de medida, pero no necesariamente con idénticas condiciones de utilización: mesurando, lugar, condiciones ambientales e intervalos de tiempo lo suficientemente grandes.

Los resultados que se extraen del proceso de medición son:

x_{mj} : medidas ($j = 1, 2, \dots, n_m$).

x'_m : media aritmética del proceso de medición ($x'_m = \sum x_{mi} / n_m$).

s_m : desviación típica de las medidas; al tenerse un número insuficiente de medidas ($n_m \leq 3$) no resulta posible el cálculo directo de la desviación típica, por ello s_m se estima mediante el valor de s_c obtenido en la calibración ($s_m \cong s_c$).

Ello resulta correcto si se admite la hipótesis de que tanto la calibración como las sucesivas medidas en servicio pertenecen a una misma población.

u_m : incertidumbre asociada estrictamente al proceso de medición. Su valor viene dado a partir de la varianza asociada a la media aritmética de la medición

x'_m , que toma el valor: $u_m^2 = s_m^2 / n_m \cong s_c^2 / n_m$.

U_m : incertidumbre expandida de medición para un factor de incertidumbre o factor de recubrimiento k_m ($U_m = k_m \cdot u_m$)

En la práctica metrológica se realizan procesos combinados de calibración-medición; para ello se calibra un instrumento o patrón, se obtienen y registran todos los resultados del proceso de calibración, se fija un periodo de tiempo para la validez de la calibración y durante dicho periodo se efectúa un cierto número de mediciones. El resultado final de cada una de tales mediciones va a venir condicionado tanto por sus propios resultados, como por los de la calibración en que se apoya dicha medición.

En efecto, el resultado de todo proceso de calibración-medición proporciona el valor convencionalmente verdadero (x) de la magnitud medida o, simplemente, el valor resultante de la medida, que debe ir asociado a una cierta incertidumbre (u o U).

En términos generales, los valores que tomen x y u deberán ser función de los valores y resultados de la calibración y de la medición. En efecto:

x : valor resultante de la medida ($x = x'_m + \Delta x_c$).

u : incertidumbre asignable al valor resultante de la medida. El valor de la varianza asociada a esta incertidumbre será la suma de la varianza de x'_m y de Δx_c , ya que $x = x'_m + \Delta x_c$.

Esto es: $u^2 = u_m^2 + u_c^2 = s_c^2/n_m + (u_0^2 + s_c^2/n_c) = u_0^2 + s_c^2 (1/n_c + 1/n_m)$ de donde se obtiene la incertidumbre expandida (U) asignable al resultado global de la medida, según:

$$U = k \cdot u$$

Siendo k el factor de recubrimiento, cuyos valores usuales en Metrología Dimensional suelen ser 2 ó 3.

Puede apreciarse que tanto el resultado final de la medida (x) como el de su incertidumbre asociada (U) son función de los valores y resultados tenidos en operaciones metrológicas anteriores al propio proceso de medición que se está realizando. En efecto, las expresiones de x y de U tienen las siguientes formas:

$$x = F(x_0, x'_c, x'_m) = f(x_0, x_{ci}, n_c, x_{mj}, n_m)$$

$$U = \Phi(k, u_0, u_c, u_m) = \phi(k, u_0, s_c, n_c, n_m)$$

Puede apreciarse que en ambas expresiones hay términos correspondientes a tres instantes metrológicos diferentes:

Instante actual: Proceso de medición (k, x_{mj}, n_m)

Instante anterior próximo: Proceso de calibración del instrumento (x_{ci}, n_c, s_c)

Instante anterior lejano: Proceso de calibración del patrón empleado en la calibración del instrumento (x_0, u_0)

BIBLIOGRAFÍA

1. ABS, "Rules for building and classing, steel vessels", American Bureau of Shipping, parte 4 capítulo 3, Texas, 2002.
2. BV, "Rules for the classification of steel ships", Bureau Veritas, parte C capítulo 7, Paris, 2002.
3. Carro, J.: Curso de Metrología Dimensional. Sección de Publicaciones de la ETSII de la Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 1978.
4. Chacón L, "Tecnología mecánica, máquinas y herramientas". Editorial Limusa, Grupo Noriega, México, 2004.
5. Cortizo J., Rodríguez E., "Elementos de máquinas, teoría y problemas", Universidad de Oviedo, Área de Ingeniería Mecánica, 2005.
6. Gómez T., Martín J., "Mecanizado básico". Ediciones Paraninfo, España, 2008, 1 a 90 p.
7. LR, "Rules and regulations for the classification of ships", Lloyd's Register of Shipping, parte 5 capítulo 6 y 8, Inglaterra, 2002.
8. Mariscal C., "Formulación y evaluación de proyectos", Serie nuestros valores, Centro de difusión y publicaciones de la ESPOL, 2004.
9. Norma UNE 82310:1985, "Comparadores de cuadrante", AENOR, Madrid, 1985.

10. Norma UNE-EN ISO 3650:2000, “Especificación geométrica de productos (GPS). Patrones de longitud. Bloques patrón”, AENOR, Madrid 2000.
11. Singer L., “Resistencia de materiales”, Editorial Harla, Tercera edición, 1980.
12. Thomson, P., “Procedimientos de mecanizado”, Internacional Editores Paraninfo, España, 2006.
13. Townsend P., “Notas de clase de mantenimiento y Reparación Naval”. Materia opcional dictada en la FIMCBOR ESPOL, 1992.
14. Vargas A., “Tecnología de los metales de uso marino”. Editorial series VZ, Ecuador, 1977.
15. Victoriano Cifuentes R., Tesis “Análisis de ingeniería naval en el sistema de ejes de propulsión”, 2006.
16. Marine Machining & Manufacturing, www.aquamet.com, fecha de consulta Agosto 2013.
17. Marín López J., “Proyecto del Sistema Propulsor”, Centro de difusión y publicaciones de la ESPOL, 2005.