



Universidad Austral de Chile.

---

**Facultad de Ciencias de la Ingeniería.**  
Escuela de Ingeniería Naval.

**“PROBLEMATICA DE LAS MEDICIONES DE  
VIBRACIONES A BORDO”.**

Tesis para optar al título de:  
Ingeniero Naval.  
Mención Máquinas Marinas.

PROFESOR PATROCINANTE:  
Sr. Hector Legue L.  
Ing. Civil Mecánico  
Msc Ing Oceánico

EDUARDO JAVIER ALVAREZ BARRIENTOS.

Esta Tesis ha sido sometida para su aprobación a la Comisión de Tesis, como requisito para obtener el grado del Licenciado en Ciencias de la Ingeniería.

La Tesis aprobada, junto con la nota de examen correspondiente, le permite al alumno obtener el título de **Ingeniero Naval**, mención **Máquinas Marinas**.

**EXAMEN DE TITULO:**

Nota de Presentación	(Ponderada) (1)	:	4,430
Nota de Examen	(Ponderada) (2)	:	1,132
Nota Final de Titulación	(1 + 2)	:	5,56

**COMISION EXAMINADORA:**

PROF. FREDY RIOS M.

DECANO



FIRMA

PROF. NELSON PEREZ M.

EXAMINADOR

FIRMA

PROF. MARIO LOAIZA O.

EXAMINADOR

FIRMA

PROF. MARCOS SALAS I.

EXAMINADOR

FIRMA

PROF. MILTON LEMARIE. O.

SECRETARIO ACADEMICO

FIRMA

Valdivia, SEPTIEMBRE 22 DE 2006

Nota de Presentación =  $NC/NA * 0,6 + \text{Nota de Tesis} * 0,2$   
Nota Final =  $\text{Nota de Presentación} + \text{Nota Examen} * 0,2$   
NC = Sumatoria Notas de Currículo, sin Tesis  
NA = Número de asignaturas cursadas y aprobadas, incluida Práctica Profesional.

## **Agradecimientos.**

Quiero agradecer a mis queridos padres Hugo y Nancy, a ustedes gracias por darme la vida, el cariño, apoyo, fuerzas, comprensión y paciencia durante toda mi vida, por el apoyo y consejos en los momentos de flaqueza que tuve durante el periodo de mis estudios, por las preocupaciones que tenían, pero siempre estaban para darme un aliento para poder continuar. A mis hermanas Claudia y Faviola, que siempre estaban apoyándome y dándome fuerzas para continuar, siempre preocupadas de cómo me había ido y de cualquier cosa que me pasara. Gracias a ustedes soy la persona que soy ahora, estoy agradecido de poder compartir mi vida con todas éstas personas maravillosas. Gracias Dios por darme esta gran familia y que por ellos puedo terminar otra etapa de mi vida, por esto gracias los amo mucho.

A mis compañeros y amigos, que tantas noches de estudio pasamos juntos, que te daban ánimo para poder continuar, sin ellos hubiera sido aún mas pesado los años de estudio, y quiero que sepan que siempre los recordaré, por que son unos grandes amigos.

A mis familiares, abuelos, tíos y primos, que siempre estuvieron preocupados de mis resultados durante los periodos de estudio y dándome ánimos para poder continuar, siempre presentes en los buenos y malos momentos que pase.

A ti Roxana por estar conmigo durante mi periodo de estudio, por darme fuerza, apoyo y paciencia durante este proceso, gracias por permitirme que te conociera y compartir las alegrías y penas junto a ti, no puedo dejar de agradecer también a tus padres Hugo María Inés, que siempre estuvieron pendientes de mí y se alegraban cuando me iba bien en los estudios.

Agradezco a todos las personas que directa e indirectamente ayudaron durante este proceso de la elaboración de la tesis y a lo largo de toda mi carrera, a mis amigos. Los quiero muchos.

Que Dios los bendiga

# Índice.

**Resumen.**

**Summary.**

**Introducción.**

<b>Capítulo I VIBRACIONES MECANICAS</b>	<b>1</b>
1.1 Vibraciones debido a desbalanceo.	1
1.2 Vibraciones debido a falta de alineamiento.	1
1.3 Vibraciones debido a excentricidad.	2
1.4 Vibraciones debido a rodamientos de chumacera defectuosa.	3
1.4.1 Holgura excesiva de los rodamientos.	3
1.4.2 Torbellino de aceite.	3
1.4.3 Lubricación inadecuada	4
1.5 Vibraciones debido a problemas de engranaje.	4
1.6 Vibraciones debido a fallas eléctricas.	5
<b>Capítulo II VIBRACIONES EN BUQUES</b>	<b>7</b>
2.1 Fuentes de excitación.	8
2.2 Fuerzas excitadoras producidas por el propulsor.	8
2.2.1 Fuerzas de superficie.	9
2.2.2 Fuerzas en el descanso de empuje.	10
2.3 Eje propulsor.	10
2.4 Motor principal.	11
2.4.1 Fuerzas y momentos de desbalanceamiento.	11
2.4.2 Fuerzas generadas por la combustión de los gases.	11
2.4.3 Modos de vibración en motores.	12
2.4.4 Vibraciones axiales del cigüeñal.	13
2.5 Motores auxiliares.	13
2.6 Algunas recomendaciones anormales que pueden suceder y como corregirlas.	13
2.6.1 Vibraciones del motor.	13
2.6.2 Balance del árbol cigüeñal.	14
2.6.3 Amortiguadores de vibración.	15

<b>Capítulo III PROCEDIMIENTOS PARA PRUEBAS DE MEDICIONES DE VIBRACIONES A BORDO DE BUQUES</b>	<b>16</b>
3.1 Código para la ejecución de mediciones vibratoriales a bordo de buques y presentación de resultados	16
3.1.1 Campo de aplicación.	17
3.1.2 Definiciones.	18
3.1.3 Mediciones de la información.	18
3.1.4 Análisis y registro de la información.	23
3.1.5 Reglas para la presentación de los resultados de las pruebas vibratoriales.	25
3.2 Mediciones y reporte de los datos locales de la vibración de las estructuras y del equipo de la nave.	38
3.2.1 Alcance y campo de aplicación.	38
3.2.2 Medida de datos.	39
3.2.3 Localización del transductor.	41
3.2.4 Cantidades que se medirán.	41
3.2.5 Método de prueba.	42
3.2.6 Análisis y registro de la información.	42
3.2.7 Reglas para la presentación de los resultados de la prueba de la vibración.	44
3.3 Vibraciones mecánicas de motores con velocidades de operación desde 10 a 200 Rev/seg base para la elaboración de normas de evaluación.	44
3.3.1 Campo de aplicación.	45
3.3.2 Explicación de los términos.	46
3.3.3 Guía general para medir vibraciones de donde se obtendrá la severidad vibracional.	47
3.3.4 Escala para la evaluación de la intensidad vibracional	49
3.3.5 Ejemplo de clasificación.	51
 <b>Capítulo IV INSTRUMENTACION Y ANÁLISIS DE VIBRACIONES</b>	 <b>56</b>
4.1 Análisis de vibraciones.	56
4.2 Instrumentación.	58
 <b>Conclusión.</b>	 <b>66</b>
<b>Anexo I.</b>	<b>67</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>69</b>

## Resumen

El trabajo de investigación que se presenta a continuación, tiene por objetivo principal entregar un análisis de las normas actualmente aplicadas a buques, en lo relativo a vibraciones que se producen en la sala de maquinas, producidas por el sistema propulsor (propulsor, eje y motor principal) y maquinaria auxiliar, para posteriormente preparar protocolos y reportes vibracionales en embarcaciones. También se entregan recomendaciones de instalación de equipos y una serie de dibujos para la mejor comprensión de diferentes aspectos de la norma.

Además, se analizan los procedimientos para la recolección de datos en vibraciones de estructuras locales, en algunas zonas de cubierta de buques comerciales.

También, se entregan puntos en los cuales se tienen que realizar las mediciones en las máquinas y el instrumento a utilizar, además de las condiciones en las cuales se tiene que encontrar el buque para realizar éstas, por ejemplo el buque tiene que estar a una profundidad no menor a cinco veces su calado, en agua calma, a su desplazamiento de trabajo.

## Summary

The aim of this thesis is to analyse the current rules applied to ship vibration in order to prepare protocols and vibration reports on ships. Also, there are some recommendations given for equipment installation and there is a set of drawings included in order to understand the different aspects of the rules.

In addition, the different procedures for the recollection of data in relation to local structure vibrations, or elements, as well as installed equipment aboard commercial ships are analysed in this report.

The report also mentions the locations in which measurements are taken by machines and other tools, as well as the conditions in which the ship should be found, so as to make these measurements: a depth of five times its draft, calm waters, displacement of work.

## **Introducción.**

Las fuentes de excitación en buques que producen vibraciones son: propulsor, eje propulsor, motor principal y motor auxiliar. Pero la más importante, es la del sistema propulsor (propulsor, eje, motor principal).

Además, hay otros factores que también son causantes de vibraciones en la sala de máquinas como por ejemplo, desbalanceo, falta de alineamiento, por una mala lubricación de las piezas rodantes, por desgaste de los rodamientos, etc. Cuyos efectos pueden ser muy variados, originando no sólo incomodidad en las personas, si no también daños en la estructura, máquina y equipos del buque.

Además, estas vibraciones si son muy elevadas pueden producir grietas en la soldadura de las estructuras, dando lugar a una rotura de un miembro estructural.

Asimismo, el funcionamiento de ciertas máquinas, pueden dar lugar a averías en otras máquinas, cuando se desarrollan vibraciones con niveles excesivos. Estas averías pueden producirse en piezas o instrumentos de vigilancia y control, provocando que la máquina quede fuera de servicio si se sobrepasan ciertos niveles vibratorios, con el consiguiente daño para la instalación.

Para realizar las mediciones de las vibraciones de la maquinaria a bordo, es importante analizar las normas ISO 4867, ISO 4868 y la ISO 2372, las que están enfocadas a regularizar las mediciones de vibraciones en embarcaciones y en los motores propiamente tal. Indican recomendaciones tanto de los instrumentos a utilizar como de las condiciones idóneas para efectuar las mediciones.

Tales datos son necesarios para establecer características uniformes de vibraciones presentes en varios compartimientos a bordo de buques en varios tipos de máquinas, y proporcionar una base para la predicción en el diseño y mejoramiento, comparando niveles de referencia de vibraciones ambientales o criterios relativos finales (de máquina), seguridad (estructura) y habitabilidad.



# Capítulo I

## Vibraciones mecánicas

La razón principal para analizar y diagnosticar el estado de una máquina, es determinar las medidas necesarias para corregir la condición de vibración, reducir el nivel de las fuerzas vibratorias no deseadas y no necesarias. De manera que, al estudiar los datos, el interés principal deberá ser la identificación de las amplitudes predominantes de la vibración, la determinación de las causas, y la corrección del problema que ellas representan.

Ahora veremos las diferentes causas de vibraciones y sus consecuencias, lo cual nos ayudará enormemente para interpretar los datos que podamos obtener, determinando así el tipo de vibraciones que se presenta, y buscar la debida corrección de las mismas.

### 1.1 Vibraciones debido a desbalance

El desbalance de la maquinaria es una de las causas más comunes de las vibraciones. En muchos casos, los datos arrojados por un estado de desbalance indican:

- La frecuencia de vibraciones se manifiesta a 1x las rpm de la pieza desbalanceada;
- La amplitud es proporcional a la cantidad de desbalance;
- La amplitud de la vibración es normalmente mayor en el sentido de medición radial, horizontal o vertical;
- El análisis de fase indica lecturas de fases estables;
- La fase se desplazará  $90^\circ$  si se desplaza el captador  $90^\circ$ .

El desbalance de un rotor saliente, a menudo tiene como resultado una gran amplitud de la vibración en sentido axial, al mismo tiempo que en sentido radial.

### 1.2 Vibración debida a falta de alineamiento

En la mayoría de los casos, los datos derivados de una condición de falta de alineamiento indican lo siguiente:

- La frecuencia de vibración es de 1x rpm; también de 2x y 3x rpm en los casos de una grave falta de alineamiento;
- La amplitud de la vibración es proporcional a la falta de alineamiento;

- La amplitud de la vibración puede ser alta también en sentido axial, además de radial;
- El análisis de fase muestra lecturas de fase inestable.

La falta de alineamiento, aún con acoplamiento flexible, produce fuerzas radiales como axiales que, a su vez, producen vibraciones radiales y axiales.

Uno de los indicios más importantes de problemas, debido a faltas de alineamiento y a ejes torcidos, es la presencia de una elevada vibración en ambos sentidos, radial y axial. En general, cada vez que la amplitud de la vibración axial sea mayor que la mitad de la lectura radial más alta, hay un buen motivo de sospechar la existencia de un problema de alineamiento o eje torcido.

Los tres tipos básicos de falta de alineamiento en el acoplamiento son: angular, en paralelo y una combinación de ambas.

### **1.3 Vibraciones debido a excentricidad**

La excentricidad es otra de las causas comunes de vibraciones en máquinas rotativas. Excentricidad en éste caso no significa ovalización, sino que la línea central del eje no es la misma que la línea central del rotor, el centro de rotación verdadero difiere de la línea central geométrica.

La excentricidad es en realidad una fuente común de descalces, y se debe a un mayor peso de un lado del centro de rotación que el otro.

Una manera de diferenciar entre desbalance y excentricidad en este tipo de motor, es medir la vibración con filtro afuera, mientras el motor está funcionando bajo corriente. Luego, se desconecta el motor, observando el cambio de la amplitud de vibración. Si la amplitud se reduce gradualmente mientras el motor sigue girando por inercia, es muy probable que el problema sea debido a desbalance; Si, en cambio, la amplitud de vibración desaparece en el momento mismo en que el motor es desconectado, el problema es seguramente de naturaleza eléctrica, y es muy posible que se deba a excentricidad del inducido.

La excentricidad en rodets o rotores de ventiladores, sopladores, bombas y compresores puede también crear fuerzas vibratorias. En esos casos las fuerzas son el resultado de fuerzas aerodinámicas e hidráulicas desiguales que actúan contra el rotor.

## **1.4 Vibraciones debido a rodamientos de chumacera defectuosos.**

Elevados niveles de vibración, ocasionados por rodamientos de chumacera defectuosos, son generalmente el resultado de una holgura excesiva (causada por desgaste, debido a una acción de barrido o por erosión química), aflojamientos mecánicos (metal blanco suelto en el alojamiento), o problemas de lubricación.

### **1.4.1 Holgura excesiva de los rodamientos.**

Un rodamiento de chumacera con holgura excesiva hace que un defecto de relativamente menor importancia, tal como un leve desbalance o una pequeña falta de alineamiento, u otra fuente de fuerzas vibratorias, se transformen como resultado en aflojamiento mecánico o en golpes repetidos.

En tales casos, el rodamiento en sí no es lo que crea la vibración; pero la amplitud de la misma sería mucho menor si la holgura de los rodamientos fuera correcta.

A menudo se puede detectar un rodamiento de chumacera desgastado por barrido, efectuando una comparación de las amplitudes de vibraciones horizontales y verticales. Las máquinas que están montadas firmemente sobre una estructura o cimentación rígida revelarán, en condiciones normales, una amplitud de vibración ligeramente más alta en sentido horizontal.

### **1.4.2 Torbellino de Aceite.**

Este tipo de vibración ocurre solamente en máquinas equipadas con rodamientos de chumacera lubricados a presión, y que funcionan a velocidades relativamente altas.

La vibración, debida a torbellinos de aceite, a menudo es muy pronunciada, pero se reconoce fácilmente por su frecuencia fuera de lo común. Dicha frecuencia es apenas menor de la mitad de la velocidad de rotación (en rpm) del eje, generalmente en el orden del 46 al 48% de las rpm del eje.

El problema de los torbellinos de aceite, normalmente se atribuye a diseño incorrecto del rodamiento, desgaste excesivo del rodamiento, un aumento de la presión del lubricante o un cambio de la viscosidad del aceite.

Se pueden hacer correcciones temporales, modificando la temperatura del aceite (viscosidad), introduciendo un leve desbalance o una falta de alineamiento de manera de aumentar la carga sobre el eje, o rascando y/o ranurando los costados del rodamiento, para desbaratar la "cuña" de lubricante. Desde luego, una solución más duradera es reemplazar el rodamiento con uno que haya sido diseñado

correctamente de acuerdo a las condiciones operativas de la máquina, o con uno que esté diseñado para reducir la posibilidad de formación de torbellinos de aceite.

Los rodamientos con ranuras axiales, usan las ranuras para aumentar la resistencia a la formación de torbellinos de aceite en tres puntos espaciados uniformemente. Este tipo de configuración está limitado a las aplicaciones más pequeñas, tales como turbinas de gas livianas y turbocargadores.

Los rodamientos de chumacera de lóbulos, brindan estabilidad contra los torbellinos de aceite al proporcionar tres puntos de concentración de la película de aceite bajo presión, que sirven para centrar al eje.

Los rodamientos de riñón basculante, son comúnmente utilizados para las máquinas industriales más grandes, que funcionan a velocidades más altas.

### **1.4.3 Lubricación inadecuada**

Una inadecuada lubricación, incluyendo la falta de lubricación y el uso de lubricantes incorrectos, puede ocasionar problemas de vibración en un rodamiento de chumacera. En semejantes casos, la lubricación inadecuada causa excesiva fricción entre el rodamiento estacionario y el eje rotante, y dicha fricción induce vibración en el rodamiento y en las demás piezas relacionadas. Este tipo de vibración se llama "dry whip", o sea látigo seco, y es muy parecido al pasar de un dedo mojado sobre un cristal seco.

La frecuencia de la vibración debida al látigo seco, generalmente es muy alta y produce el sonido chillón característico de los rodamientos que están funcionando en seco. No es muy probable que dicha frecuencia sea algún múltiplo integral de las rpm del eje, de manera que no es de esperar ningún patrón significativo bajo la luz estroboscópica. En este respecto, la vibración ocasionada por el látigo seco es similar a la vibración creada por un rodamiento antifricción en mal estado.

Cada vez que se sospeche que un látigo seco sea la causa de la vibración, se deberá inspeccionar el lubricante, el sistema de lubricación y la holgura del rodamiento.

## **1.5 Vibraciones debido a problemas de engranaje**

La vibración que resulta de problemas de engranaje es de fácil identificación, porque normalmente ocurre a una frecuencia igual que a la frecuencia de engrane de los engranajes, es decir, la cantidad de dientes del engranaje multiplicada por las rpm del engranaje que falla.

Problemas comunes de los engranajes, que tienen como resultado vibración a la frecuencia de engrane, comprenden el desgaste excesivo de los dientes,

inexactitud de los dientes, fallas de lubricación y materias extrañas atrapadas entre los dientes.

No todos los problemas de engranajes, generan frecuencias de vibración iguales a las frecuencias de engrane. Si un engranaje tiene un solo diente roto o deformado, por ejemplo, el resultado puede ser una frecuencia de vibración de 1x las rpm. Mirando la forma de onda de esa vibración en un osciloscopio conectado con un analizador, la presencia de señales de impulso permitirá distinguir entre este problema y las demás averías, que también generan frecuencias de vibración de 1x las rpm. Desde luego, si hay más de un diente deformado, la frecuencia de vibración es multiplicada por una cantidad correspondiente.

La amplitud y frecuencia de vibración, debida a los engranajes pueden también parecer erráticas a veces. Dicho tipo de vibración errática ocurre normalmente cuando un conjunto de engranajes está funcionando en condiciones de carga muy liviana. En tales condiciones la carga puede desplazarse repetidamente de un engranaje a otro de modo irregular.

## **1.6 Vibraciones debido a fallas eléctricas**

Este tipo de vibración es normalmente el resultado de fuerzas magnéticas desiguales que actúan sobre el rotor o sobre el estator. Dichas fuerzas desiguales pueden ser debidas a:

- Rotor que no es redondo
- Chumaceras del inducido que son excéntricas
- Falta de alineamiento entre el rotor y el estator; entrehierro no uniforme
- Perforación elíptica del estator
- Devanados abiertos o en corto circuito
- Hierro del rotor en corto circuito

En líneas generales, la frecuencia de vibración resultante de los problemas de índole eléctrica será 1x las rpm, y por tanto se parecerá a desbalance. Una manera sencilla de hacer la prueba para verificar la presencia eventual de vibración eléctrica, es observar el cambio de la amplitud de la vibración total (filtro fuera) en el instante en el cual se desconecta la corriente de esa unidad. Si la vibración desaparece en el mismo instante en que se desconecta la corriente, el problema con toda posibilidad será eléctrico. Si sólo decrece gradualmente, el problema será de naturaleza mecánica.

Las vibraciones ocasionadas por los problemas eléctricos responden generalmente a la cantidad de carga colocada en el motor. A medida que se

modifica la carga, la amplitud y/o las lecturas de fase pueden indicar cambios significativos. Esto explica por qué los motores eléctricos que han sido probados y balanceados en condiciones sin carga, muestran cambios drásticos de los niveles de vibración cuando vuelven a ser puestos en servicio.

## Capítulo II

### Vibraciones en buques

Los efectos de las vibraciones en buques pueden ser muy variados, originando no solo incomodidad en las personas, sino también daños en la estructura, maquinaria y equipos del buque.

Si las vibraciones producen grietas en la soldadura de la estructura, éstas pueden dar lugar a averías en otras máquinas, cuando se desarrollan vibraciones con niveles excesivos. Estas averías pueden producirse en piezas o en instrumentos de vigilancia y control que pueden quedar fuera de servicio si se sobrepasan ciertos niveles vibratorios, con el consiguiente daño para la instalación.

Una disminución de escantillones provoca el aumento de flexibilidad de las estructuras y la disminución de las frecuencias propias, tanto de los elementos considerados individuales como de los conjuntos constituidos por ellos.

Utilizar aparatos de propulsión de potencia más elevadas es motivo de que aumente la rigidez de la línea de ejes.

El aumento de la flexibilidad de la estructura del casco y de la rigidez de la línea de ejes de las instalaciones propulsoras, da lugar a que aparezcan fenómenos vibratorios notables.

Conviene considerar por una parte las fuentes de excitación y por la otra las estructuras que pueden estar expuestas a éstas excitaciones.

Luego, se puede estudiar la posibilidad de que produzcan resonancia en una de las frecuencias propias,  $F_t$ , correspondiente a los diferentes modos vibratorios de la estructura y una de las frecuencias de excitación,  $F_{ex}$ ; para evitar una amplificación dinámica excesiva de los esfuerzos debido a la fuente de excitación, conviene que las diferentes frecuencias propias queden suficientemente alejadas de las frecuencias de excitación previstas.

Se limitan los fenómenos de amplificación dinámica y se evitan los inconvenientes de resonancia cumpliendo:

$$F_t \geq 1,3 F_{ex} \quad \text{o} \quad F_t \leq 1,3 F_{ex}$$

Independientemente de los fenómenos de resonancia directa entre las diferentes fuentes de excitación y los elementos de la estructura o del conjunto de la viga – buque, algunos conjuntos, sea de la estructura, de las diferentes partes de la instalación de propulsión, pueden actuar como resonadores localizados, capaces de

crear una amplificación dinámica suplementaria de los esfuerzos de las fuentes de excitación, que pueden producir incluso una variación de la frecuencia. Cuando dos fuentes de excitación presentan frecuencias de excitación que no difieren mucho entre sí, pueden producir un fenómeno de batimiento que ocasione la resonancia de estructuras, cuyas frecuencias propias son diferentes de cada una de las frecuencias de excitación.

## **2.1 Fuentes de excitación**

Las fuerzas de excitación en buques que producen vibraciones pueden ser resumidas en las siguientes fuentes:

- Propulsor
- Eje propulsor
- Motor principal
- Motor auxiliar

Las fuentes de excitación importantes en buques, generalmente son originadas por el sistema propulsor (propulsor, eje, motor principal).

## **2.2 Fuerzas excitadoras producidas por el propulsor**

El propulsor es la principal fuente excitadora de vibraciones, situada a popa del buque, debido a que las palas del propulsor están constantemente atravesando un flujo no uniforme y las fuerzas que actúan en cada pala son variables.

Estas cargas variables son transmitidas a través del eje propulsor, distribuidas a la estructura del buque y a la sala de máquinas a través de los descansos del eje propulsor. Las fluctuaciones de presión del agua son transmitidas al casco y producen flexión en los elementos estructurales, produciendo el fenómeno de las vibraciones.

La frecuencia y la magnitud de las fuerzas de excitación, son factores importantes en el análisis de vibraciones del casco producidas por el propulsor. La frecuencia de las fuerzas de excitación de la pala es dada por la rotación del eje, multiplicada por el número de palas.

La magnitud de las fuerzas de excitación causadas por el propulsor, depende principalmente de los siguientes parámetros:

- Las características de la hélice
- Número de palas
- Cavitación
- Campo de estela



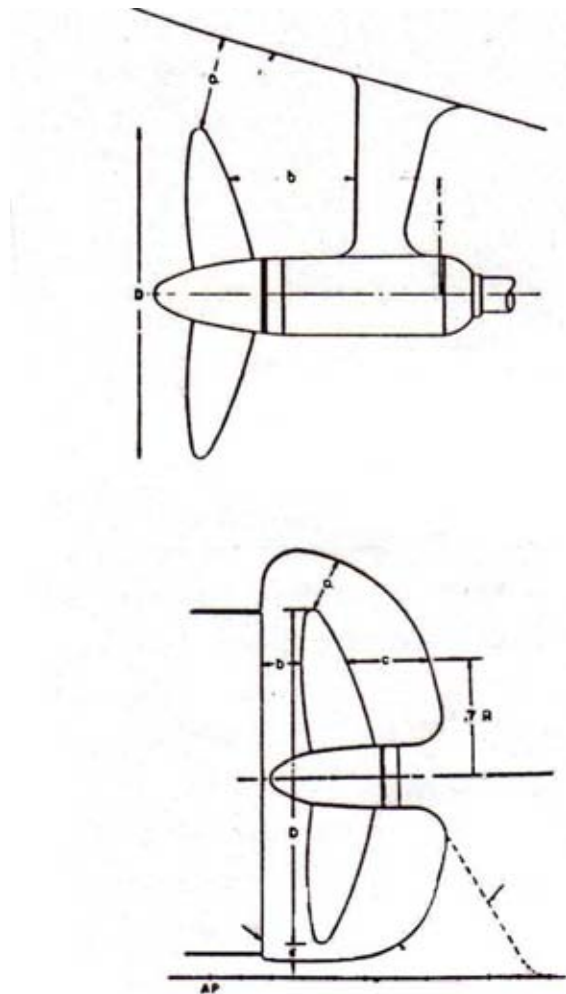
### 2.2.1 Fuerzas de superficie

Las claras del propulsor es un factor muy importante para ser considerado por el proyectista, y al seleccionar éstos parámetros se tiene que optar por una relación de compromiso, tanto del punto de vista de la propulsión como del punto de vista de las fuerzas de superficie de excitación. Cuando se dejan grandes claras, implica una baja eficiencia del propulsor y pequeñas fuerzas de superficie. Por otro lado, claras muy pequeñas producen grandes presiones sobre el casco de popa, produciendo vibraciones excesivas. La figura N° 1 muestra dichas variables.

Cuando está presente el fenómeno de la cavitación aparecen fuerzas de excitación mayores, debido al aumento de presión. El problema de desbalanceamiento del propulsor ayuda a aumentar estas fuerzas de superficie.

**Figura N° 1**

**Claras consideradas en el diseño de sistema propulsor**



## 2.2.2 Fuerzas en el descanso de empuje

Esta fuerza depende básicamente del campo de estela del buque en el cual el propulsor trabaja, y es generada por las variaciones de empuje y arrastre que actúan sobre las palas del propulsor.

Debido al flujo no uniforme en la popa del buque, aparecen sobre las palas del propulsor una distribución de presión no simétrica, que da origen a momentos de flexión y torsión. El momento flector es transmitido para el casco vía tubo codaste, excitando el buque en sentido vertical y transversal. El momento torsor transmite al eje propulsor una vibración torcional. Además, la variación del empuje por medio del eje propulsor, ocasiona vibraciones longitudinales.

Las frecuencias de las fuerzas excitadoras antes mencionadas son determinadas por el producto de la velocidad de rotación del eje propulsor y por el número de palas.

## 2.3 Eje propulsor

Si la frecuencia de la fuerza de empuje del propulsor y la frecuencia de vibración del eje cigüeñal del motor principal, coinciden con algunas de las frecuencias naturales de vibración axial del sistema propulsor, se tendrá una resonancia. Este fenómeno podría causar por ejemplo, vibraciones excesivas en cubierta o en superestructura del buque, incluso desperfecto en los elementos mecánicos.

De la misma forma, en el sistema propulsor podría existir resonancia, cuando una frecuencia de excitación del propulsor, coincide con alguna frecuencia natural de vibración torcional del eje.

En el caso de existir desalineamiento del eje propulsor o desbalanceamiento del propulsor, surgirán fuerzas excitadoras de vibraciones, cuyas frecuencias serán numéricamente iguales a la rotación del eje.

Es importante que el eje apoye en todos sus cojinetes, ya que al quedar el eje en voladizo, la frecuencia bajaría y podría quedar golpeando sobre el cojinete produciendo fuertes vibraciones en la estructura del buque y daño en el sistema propulsivo.

Para determinar las frecuencias propias del eje propulsor, es utilizado el método de los elementos finitos, el cual entrega los modos de vibraciones, como también las frecuencias naturales.

## **2.4 Motor principal**

Las fuerzas de excitación producidas por el motor principal son generadas por la combustión de los gases en los cilindros y por los movimientos de las piezas con movimiento alternativo y rotativo. Estas fuerzas transmiten vibraciones a través de las fundaciones de los motores a la estructura del buque.

### **2.4.1 Fuerzas y momentos de desbalanceamiento**

Las masas en movimiento, del pistón y biela, generan fuerzas de excitación vertical, debido al movimiento de subida y bajada cuando el motor se encuentra en funcionamiento. En cambio, el eje cigüeñal en movimiento hace que las masas involucradas de la biela generen fuerzas de inercia en sentido horizontal. La suma de las fuerzas para todos los cilindros son llamadas fuerzas y momentos de desbalanceamiento de primer y segundo orden.

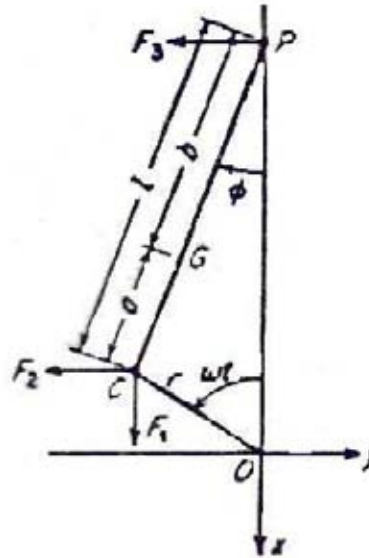
En general los momentos producidos por el desbalanceamiento no producen grandes vibraciones del casco de un buque.

### **2.4.2 Fuerzas generadas por la combustión de los gases**

La explosión en el cilindro genera una presión sobre el pistón tal que lo obliga a descender. Ésta presión, actuando en todo el área del pistón, resulta una fuerza que actúa sobre el pistón, seguidamente una parte de esta fuerza es transmitida al eje cigüeñal a través de la biela y lo que resta es transmitida a las paredes del cilindro del motor, entregando potencia en el eje. Este momento, depende de cada explosión y la frecuencia de estas excitaciones es cíclica.

En motores de varios cilindros, la fuerza de excitación es debido a la suma de las fuerzas de cada cilindro. La fuerza total que actúa en las paredes de los cilindros, produce una flexión y torsión de la estructura del motor y éste movimiento es transmitido hacia las fundaciones, produciendo las vibraciones de la estructura de la sala de máquinas. Las fuerzas que generan el momento en el eje, producen flexión de la estructura de la fundación debido a la reacción del par. La figura N° 2, muestra el diagrama de fuerzas en un motor.

**Figura N° 2**  
**Diagrama de fuerzas en un motor**



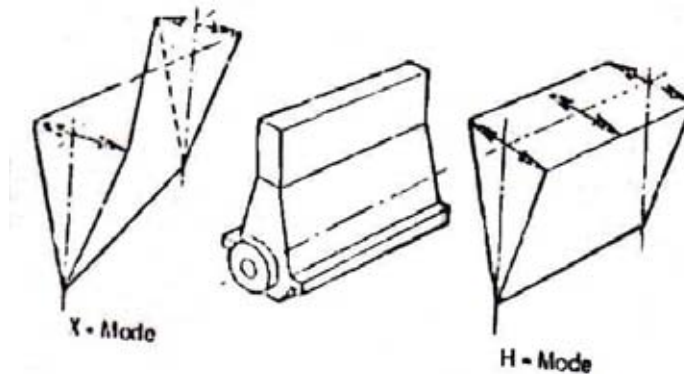
### 2.4.3 Modos de vibración en motores

Los modos naturales de vibración de motores dependen de su propia estructura. Generalmente, el primer modo de vibrar de un motor es el modo "H", que es cuando el motor tiene movimientos en sentido lateral, tratando de flectar el motor.

El segundo modo de vibración, generalmente es el modo "X", éste modo se presenta con un movimiento de torsión respecto al eje vertical de simetría del motor. En motores altos y con bajo número de cilindros, es posible que exista el modo "L" que consiste en un movimiento de popa a proa del motor. Los siguientes modos, generalmente se encuentran a una frecuencia muy alta y no son de importancia ya que es muy difícil que el sistema entre en resonancia en niveles altos de frecuencia.

Un método aplicado para la determinación de las frecuencias propias de vibración de un motor es el de aplicaciones de programas computacionales de elementos finitos. La Figura N° 3 lustra los modos de vibración de un motor.

**Figura N° 3**  
**Modos de vibrar de un motor**



#### **2.4.4 Vibraciones axiales del cigüeñal**

Las causas por la cual se producen vibraciones axiales en ejes principales, es debido a variaciones del empuje del sistema propulsor y de la variación de presión en los cilindros, debido a la combustión.

La rigidez del descanso de empuje es uno de los problemas que se presentan cuando existen vibraciones axiales. Para solucionar este problema se tiene que estudiar la rigidez de la fundación o instalar un amortiguador axial.

Para la obtención de las frecuencias propias de vibración es posible determinarla con el método de elementos finitos.

#### **2.5 Motores auxiliares**

Las fuerzas generadoras de vibraciones de los motores auxiliares, generalmente, no causan problema de vibraciones de estructura del buque, solo producen vibraciones locales en la sala de máquinas. Cuando existe este problema de vibración estructural, son utilizados apoyos elásticos.

### **2.6 Algunas recomendaciones anormales que pueden suceder y como corregirlas**

#### **2.6.1 Vibraciones del motor**

Estas se pueden clasificar por el tipo de desplazamiento que ellas producen:

**Sacudimiento:** Causado por fuerzas verticales u horizontales que tienden a mover al motor hacia arriba y hacia abajo, o hacia los lados respectivamente. Esto se debe a fuerzas alternativas desbalanceadas y a componentes verticales u horizontales de las fuerzas centrifugas.

**Balaceo u Oscilación:** Causado por fuerzas fluctuantes horizontales actuando por encima del centro de gravedad del motor, esto se debe a la variación en el componente horizontal de la reacción del pistón debido a cambios en la presión del gas, a las fuerzas de inercia y a la reacción de la carga.

**Cabeceo:** Causado por pares fluctuantes verticales que hacen que los extremos del motor se levante y caiga, esto es el resultado de un par desbalanceado.

**Guiñada:** Causado por pares fluctuantes horizontales que tienden a girar el motor en sentido transversal o mover los extremos hacia la izquierda y a la derecha, esto ocurre principalmente como resultado de un par desbalanceado producido por componentes horizontales de las fuerzas centrífugas en un motor vertical y por componentes horizontales de las fuerzas en motores en V.

**Torcional:** Causado por reacciones de troqué fluctuante que tienden a torcer el cigüeñal.

Para prevenir la resonancia de estas vibraciones, la armazón del motor se hace tan rígida como sea posible para aumentar su frecuencia natural de vibración.

## 2.6.2 Balance del árbol cigüeñal

Se dice que el cigüeñal está balanceado estáticamente, cuando su centro de gravedad coincide con su línea de centro, con sus extremos soportados en dos extremos, el árbol estará en una posición estable y no girará. Las fuerzas centrífugas de las partes rotativas de cada estructura de manivela de un cigüeñal balanceado estáticamente, si se consideran que actúan en un mismo plano, se balancearán unas a otras, sin embargo estas no actúan en el mismo plano sino en planos diferentes.

Estas fuerzas, por lo expuesto, forman pares, a menos que sean balanceadas, tenderán a producir cabeceo y guiñada según rote el cigüeñal. Cuando estos pares están completamente balanceados, se dice que el cigüeñal está balanceado dinámicamente.

Sin embargo, algunos deben ser balanceados dinámicamente por medio de pesos, conocido como contrapeso o pesos de compensación, colocados opuestamente a su manivela.

Antes que otras partes móviles de un motor puedan ser balanceadas, su árbol cigüeñal deberá ser balanceado dinámicamente.

### **2.6.3 Amortiguadores de vibración**

A pesar de todas las precauciones que se usan, no es posible balancear todas las fuerzas y pares que ocurren en un motor, para absorber las vibraciones que no se puedan balancear, al motor se le debe proveer con amortiguadores que eviten averías en la misma o en su montaje.

Los amortiguadores de vibraciones para los montajes del motor consisten especialmente de un soporte flexible para el motor, hecho de corcho, goma o resorte.

Para absorber todos los tipos de vibraciones, este soporte deberá permitir una pequeña deflexión del motor en cualquier dirección y absorber las vibraciones sin transmitir las a la bancada.

### **2.6.4 Amortiguadores de vibración torsional**

No siempre es posible hacer el cigüeñal tan rígido que no ocurra resonancia con alguna de las armónicas de alto grado de su frecuencia natural, dentro del alcance de la velocidad de funcionamiento.

Por eso, los cigüeñales de los motores policilíndricos de alta velocidad están equipados con amortiguadores de vibración torsional los cuales previenen que las vibraciones se eleven a amplitudes peligrosas cuando se operan a velocidades críticas o cerca de ella.

Los amortiguadores de vibración torsional limitan las amplitudes de las vibraciones suministrando fuerzas de fricción resistentes que se oponen a ellas. De este modo la energía vibratoria se convierte en calor, el cual se disipa sin efectos dañinos en el motor.

Los amortiguadores de vibración torsional usualmente consisten de un volante pequeño con impulsión flexible montado en el extremo del cigüeñal opuesto al volante principal.

## Capítulo III

### Procedimiento para pruebas de mediciones de vibraciones a bordo de buques

#### Introducción

En el presente capítulo se analizarán las normas ISO 4867, ISO 4868 e ISO 2372, con la finalidad de entender de mejor manera la realización de las mediciones de vibraciones en el motor principal y en el sistema propulsor. También se verán los puntos donde se efectuarán las mediciones, señalando los lugares y las condiciones que debe cumplir el buque para realizarlas, para posteriormente preparar los protocolos y los reportes vibracionales.

#### 3.1 Código para la ejecución de mediciones vibracionales a bordo de buques y presentación de resultados.

Según la norma ISO 4867, la necesidad de datos comparativos sobre la vibración de la nave requiere condiciones de prueba uniformes, en general, éstas pueden ser en pruebas de mar con condiciones de lastre conocidas. La vibración relativamente uniforme generada por el motor puede ser distorsionada debido a vibraciones transientes producidas por el impacto de olas ó slamming. Cambios en la distribución de la estela debido a ángulos en el timón y movimientos de yaw, pueden producir grandes aumentos de fuerzas excitadoras. Opciones en aguas poco profundas pueden producir un efecto significativo en las vibraciones del buque. Si una hélice emerge continuamente o esporádicamente, causa aumento en la fuerza excitadora. El efecto de vibraciones laterales de la parte más próxima a popa del eje propulsor en el casco y la superestructura, deberán ser considerados.

La parte más próxima a popa del eje propulsor podría tener frecuencias de resonancia lateral dentro del rango de velocidades de la embarcación, lo cual puede excitar fuertes vibraciones por desbalanceamiento ó fuerzas de la hélice.

Fuerzas alternativas de empuje, podrían generar vibraciones peligrosas en los rodamientos de los descansos de empuje, como resultado de la resonancia longitudinal en el sistema de propulsión.

Los motores diesel pueden vibrar sobre los tres ejes rotatorios y los tres ejes de traslación y generar grandes fuerzas que pueden causar grandes vibraciones en el buque.

La principal respuesta del casco de un buque es similar al comportamiento de una viga libre-libre en sus modos bajos. En frecuencias altas, la respuesta del casco del buque es equivalente a una respuesta de una fuerza con sus resonancias



definidas y una máxima respuesta en el área del espejo en popa. El área del espejo es un antinodo para cualquier modo excitador de flexión o torsión, generado por el sistema de propulsión y en un punto apropiado de frecuencia para las mediciones de una vibración y fuerzas de respuesta similar a la viga. La respuesta de la superestructura y estructura local puede ser evaluada en términos de la relación entre la amplitud de vibraciones y la amplitud de vibración de la periferia del casco en esas ubicaciones.

### **3.1.1 Campo de aplicación**

Esta norma establece un procedimiento uniforme de acumulación y presentación de datos:

- a) Para vibraciones del casco con un ó múltiples ejes, buques mecánicos oceánicos.
- b) Para vibraciones del sistema eje – propulsor como sus efectos en el casco.

Éstos datos proveerán de una base para predicciones de diseño, mejoras y comparaciones con respecto a niveles vibracionales.

Procedimientos similares podrán ser utilizados para buques de tránsito interno y remolcador. En casos especiales, cuando las vibraciones objetables existan, podrían requerirse una investigación específica.

Este Estándar Internacional concierne a:

- a) Vibraciones del casco principal y superestructuras excitadas por el sistema de propulsión
  - Respecto a la frecuencia rotacional del eje
  - Relación de las palas de la hélice
  - Relación de los armónicos de las palas
  - Frecuencias asociadas con los componentes mayores de la máquina.

- b) Excitación del eje propulsor y el sistema de máquina principal

Pruebas de caída y para del ancla en aguas tranquilas pueden ser efectivas obteniendo los primeros modos verticales de vibración y sus constantes de amortiguamiento.

En casos individuales, los elementos a ser medidos pueden ser agregados para complementar la ayuda de las mediciones para cada buque.

### 3.1.2 Definiciones

**Ruta libre:** Ésta condición es obtenida cuando procede con velocidad y curso constante.

**Periferia del casco:** Estructura del casco primario, tales como: espesor del casco, cubiertas continuas que contribuyan a la rigidez flexional y un comportamiento estático y dinámico.

**Vibración local:** Respuesta dinámica de un elemento estructural, cubierta, mamparo o pieza de equipamiento significativamente mayor que una ubicación en la periferia del casco.

**Severidad vibracional:** El valor peak de la vibración (velocidad, aceleración ó desplazamiento)

### 3.1.3 Mediciones de la información

#### 3.1.3.1 Instrumentación

Las mediciones deben ser preferentemente hechas por un sistema digital, por entregar una medida permanente. Los transductores pueden generar indistintamente medidas de velocidad, aceleración o desplazamiento. El listado puede ser hecho en cinta magnética, papel oscilográfico o una combinación de éstas. El uso de papel oscilográfico durante las pruebas, significa que el trazado de las vibraciones puede ser inspeccionado directamente y es muy útil si se quiere evaluar problemas de vibraciones existentes. Cuando el desplazamiento, velocidad o aceleración son medidas, las frecuencias bajas deseadas, asociadas a un movimiento vibracional significativo, son los mayores componentes en el trazado de valores. También éstos son inmediatamente evaluados al sobrepasar las señales de frecuencias más altas con amplitudes de desplazamiento bajas.

Debe tenerse cuidado al controlar y atenuar adecuadamente el sistema para permitir acomodarse a un amplio rango de amplitudes.

Una marca debe colocarse en el eje propulsor. Su posición con respecto al tope del centro muerto del cilindro número uno y una pala de la hélice debe ser anotada. La numeración de los cilindros deberá ser mostrada, como se ve en la figura 4.

El sistema de medición deberá ser calibrado por completo en laboratorio antes de las pruebas y es deseable verificar cada canal de medición antes de cada etapa de las pruebas.

### **3.1.3.2 Condiciones preferenciales para las pruebas**

Éstas deberán ser las siguientes:

- a) La prueba deberá realizarse con una profundidad del agua no menor que 5 veces el calado del buque, a menos que otra cosa sea especificada.
- b) La prueba deberá ser llevada a cabo en mar calmo (estado de mar grado 3 ó menos).
- c) Durante la prueba en porciones a ruta libre, el ángulo del timón deberá ser restringido a 2 grados a babor ó estribor (mínima acción del timón es deseada).
- d) El buque deberá ser lastrado hasta un desplazamiento tan cerca como sea posible a las condiciones de operación dentro de la capacidad normal de lastrado de está. El calado a popa deberá asegurar una inmersión completa del propulsor.

Cualquier divergencia a éstas condiciones, deberá ser claramente estipulada en la tabla 1.

### **3.1.3.3 Ubicación del transductor**

Las mediciones vibratoriales deberán ser tomadas en las siguientes ubicaciones; las mediciones deberán preferentemente ser tomadas en conjunto para obtener los modos vibratoriales.

#### **3.1.3.3.1 Espejo**

Mediciones tanto verticales como longitudinales, y en el centro de la periferia del casco deberán ser tomadas tan cerca como sea posible a la línea de crujía en el espejo. Éstas medidas deberán ser usadas como referencia. Cuando una respuesta torcional de vibración del casco se determina, un par de transductores de cubierta en el borde para vibración vertical deberán ser empleados. Deberá asegurarse que la vibración periférica del casco sea medida, excluyendo efectos naturales.

#### **3.1.3.3.2 Superestructura**

Mediciones verticales, longitudinales y en el centro serán tomadas en las siguientes ubicaciones para determinar la vibración completa de la superestructura:

- a) Puente de gobierno, en la línea céntrica al frente del puente.
- b) Cubierta principal, en la línea céntrica al frente de la cama alta.

- c) Un par de transductores para mediciones de movimientos torsionales de un castillo de cubierta en popa, cuando vibraciones torsionales sean determinadas.

Las mediciones deberán ser hechas con a lo menos un rango entre 90 y 100% de servicio normal de frecuencia rotacional del eje.

### **3.1.3.3.3 Maquinaria y rodamientos de los descansos en al sala de máquinas**

#### **a) Para motores con reductor**

Mediciones verticales, longitudinales y en el centro en lo más alto del descanso del eje. Deben ser tomadas y anotarse en puntos suplementarios en el block de fundación del motor, dirección longitudinal. (Ver figura 5).

Mediciones en otros lugares pueden ser tomadas como opcionales a una velocidad constante. Otras mediciones que logren los mismos resultados son permitidas.

#### **b) Para motores diesel de acción directa**

Las mediciones deberán ser tomadas en las siguientes ubicaciones (Ver figura 4)

- En lo más alto y en las fundaciones de los descansos.
- En lo más alto y en el extremo delantero y trasero del motor principal en dirección longitudinal.
- En lo más alto y en el extremo delantero y trasero del motor principal en dirección vertical y céntrica.

Es recomendable que las siguientes mediciones también sean hechas

- En la extremidad delantera del eje del cigüeñal (solamente longitudinal).
- En el extremo delantero y trasero de la fundación del motor (solamente vertical y céntrica).

Para otros puntos de medición, según lo mostrado en al figura 4, las mediciones opcionales pueden ser anotadas a una frecuencia rotacional constante del eje propulsor.

#### **3.1.3.3.4 Vibración lateral del eje propulsor (opcional)**

- a) Mediciones de vibraciones verticales y céntricas deberán ser tomadas en relación al tubo codaste (Ver figura 6). Otros puntos de mediciones también podrán ser tomadas. Las mediciones deben realizarse a través de la operación normal de la nave.

Los datos referentes a las características del eje deberán anotarse en la tabla 2.

- b) Con motivo de eliminar posibles errores, desalineamiento del eje deberán ser chequeados rotando el eje desde un virador y anotando la señal del primer orden. Las señales deberán ser reparadas y el movimiento del eje reparado acorde.

#### **3.1.3.3.5 Vibración torcional del eje propulsor**

Para confirmar las características de las vibraciones torsionales, las mediciones pueden ser hechas en un extremo libre de la máquina propulsora o en el eje principal usando instrumentos de deformación. Las mediciones de vibraciones torsionales son consideradas mandatorias para la máquina propulsora, a menos que los cálculos aprobados por la casa clasificadora demuestren que una excitación significativa en esa velocidad de operación no puede ser esperada razonablemente.

#### **3.1.3.3.6 Vibraciones locales**

Cuando se evidencian que ocurren vibraciones locales de importancia, las mediciones deben ser tomadas para generar una necesidad de mediciones correctivas (ISO 4868)

#### **3.1.3.3.7 Cubierta de rumbo (opcional)**

Las mediciones de vibraciones se deben realizar en el borde de la cubierta y determinar la flexión vertical y céntrica, en números suficientes de puntos que permitan determinar la forma de los modos en frecuencias bajas, para evitar resonancias locales. Éstas mediciones se pueden realizar con un transductor en la popa o un instrumento portátil.

#### **3.1.3.3.8 Transductores de presión del casco (opcional)**

Para obtener una indicación de la magnitud de las fuerzas inducidas que actúan en la superficie del casco, éstas deben ser hechas como un ítem especial. La cantidad mínima de transductores (tres) deberán ubicarse de manera adecuada como se ve en la figura 7. Dos transductores deberán estar aproximadamente en el plano

de la hélice y uno aproximadamente a 0.1D delante del plano de la hélice. Para minimizar los efectos de vibración del planchaje, todos los transductores deben estar tan cerca como sea posible de cuadernas adyacentes o mamparos parciales.

Con el propósito de investigación una mayor cantidad de transductores pueden ser ubicados sobre una larga área atrás o delante del plano de la hélice.

#### **3.1.3.4 Cantidades que se medirán**

Las cantidades que se medirán son las siguientes:

- a) Desplazamiento, velocidad, aceleración y presiones o deformaciones.
- b) Frecuencias en ciclos por segundo o ciclos por minutos.
- c) Frecuencia rotacional del eje (velocidad) en revoluciones por minutos o revoluciones por segundo.
- d) Identificación de fase.

#### **3.1.3.5 Procedimientos de las pruebas**

##### **3.1.3.5.1 Calibración del equipo generador de medidas**

Cada canal deberá ser chequeado antes del término de la inhalación para asegurarse de un funcionamiento adecuado. Los chequeos deberán ser efectuados a intervalos regulares y por cada cambio a una señal atenuada. La calibración deberá ser registrada.

##### **3.1.3.5.2 Funcionamiento de las medidas**

Los datos de las vibraciones del casco y la máquina deberán ser registrados en las condiciones siguientes:

- a) Hacer una desaceleración o aceleración permanente, funcionando preferentemente a 5 rpm/min para determinar las velocidades críticas.
- b) En ruta libre, funcionando desde la mitad de las rpm del eje hasta el máximo con incrementos de 3 a 10 rpm. Puesta en funcionamiento con menores incrementos son requeridos a velocidades críticas cercanas a la velocidad de servicio.
- c) Viraje violento de babor a estribor a máxima velocidad (opcional).
- d) Retroceso violento, desde toda máquina a avante a toda máquina atrás.
- e) Caída y parada del ancla.

### **3.1.3.5.3 Funcionamiento en ruta libre**

Se le permite al buque permanecer a una velocidad constante. Mantener la máquina a una velocidad para permitir el registro de máximos y mínimos valores de vibraciones (1min aproximadamente). En el caso de múltiples ejes, todos deben funcionar tan cerca como sea posible a la misma velocidad, para determinar los niveles vibratoriales. En algunos casos será mejor solo andar con un eje para la determinación de los modos de vibración.

### **3.1.3.5.4 Mediciones durante las maniobras del motor principal**

El objetivo de estas mediciones es determinar la velocidad crítica dando adelante y dando atrás, con el objeto de que esta velocidad crítica durante la maniobra sea pasada rápidamente por el motor. De tal manera que una vez establecido estos régimen deben quedar marcados con rojo en el tacómetro de los puestos de control ubicados en sala de control de la sala de maquinas, puesto local de maniobra adyacente al motor y además en el tacómetro ubicado en el puente de gobierno

Si éstas indicaciones o registros no fueran claramente indicado en el protocolo, el motor correrá el peligro de que esas vibraciones sumadas a las ya existentes en la sala de maquinas se traduzcan en resonancia destructiva.

### **3.1.3.5.5 Prueba de caída y subida del ancla**

Para la prueba de caída y parada del ancla, ésta caerá libremente y se parará rápidamente por medio del freno del winche, y no tocará el fondo. La nave estará muerta para ésta prueba, con un mínimo de equipo que rote en la operación, serán tomadas con cuidado para no exceder las recomendaciones del fabricante para la prueba de caída libre, los datos del winche del ancla deberán ser tomados continuamente a partir del momento que se lanza el ancla hasta que la vibración pueda ser detectada.

## **3.1.4 Análisis y registro de la información**

### **3.1.4.1 Análisis**

El análisis deberá proveer la siguiente información para todas las puestas en funcionamiento.

- a) Severidad en las frecuencias vibracionales del eje de la hélice (primer orden) para transductores en la periferia del casco.
- b) Severidad de las frecuencias vibracionales en relación a las palas para transductores en la periferia del casco y en la máquina.
- c) Severidad de la vibración de cada armónico detectable de la frecuencia en la maquinaria. También la severidad en cada frecuencia rotacional del eje cigüeñal en el caso de motores diesel con caja reductora.
- d) Relación de las fases entre varios transductores en las frecuencias relacionadas a las palas, usando una base de datos apropiada por ejemplo transductores en la periferia del casco y en maquinarias.
- e) Para maquinaria diesel, la relación de fases deberá ser proveído entre los trasductores midiendo en la dirección longitudinal y los trasductores en lo mas alto del motor, midiendo vibraciones torsionales; de todas forma cada grupo deberá ser medido de forma simultanea.
- f) Severidad de vibraciones en resonancias de la periferia del casco y maquinaria.

### **3.1.4.2 Reporte de datos**

El reporte de los datos debe incluir lo siguiente:

- a) Características principales del diseño del buque:
  - 1. Tabla completa 1,2 y 3.
  - 2. Proveer un croquis del perfil del casco y superestructura.
  - 3. Proveer un plano de líneas de la configuración de la zona de popa, aproximadamente un quinto de la eslora del buque.
- b) Un croquis mostrando ubicaciones de los trasductores en la periferia del casco y sus direcciones de mediciones. Ubicación de transductores para mediciones locales deberán ser mostrados en un croquis aparte.
- c) Las condiciones de las pruebas usando la tabla 4.
- d) Gráficos de amplitudes de desplazamiento, velocidad o aceleración versus velocidad para la frecuencia rotacional del eje, relación de palas, o frecuencias excitadora de maquinaria u otro armónico. Hoja de reportes adicionales deberán ser usadas de acuerdo a la tabla 5.
- e) Resultado de las vibraciones en áreas locales usando tabla 5.
- f) Resultados de las maniobras usando tabla 6 y 7.
- g) Resultados de la prueba caída y subida del ancla, incluyendo la identificación de la frecuencia natural del casco y los trazos de decaimiento vibracional, los



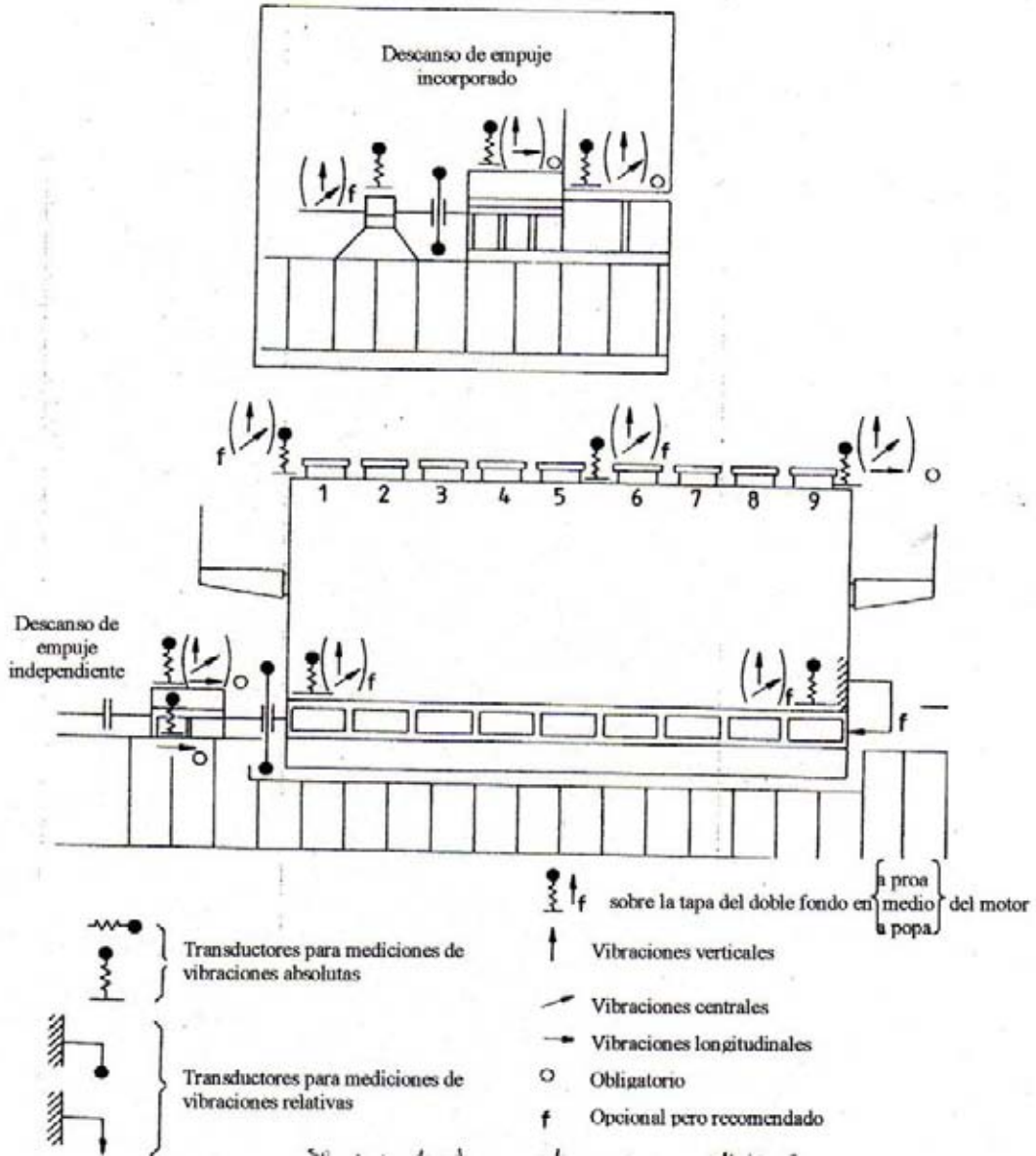
derivados coeficientes de amortiguamiento. Presentación de trazos oscilográficos son deseados.

- h) Métodos de análisis de resultados.
- i) Tipo de instrumento utilizado.
- j) El reporte debe hacer nota de las frecuencias naturales y modos que han sido identificados. Debe hacer mención también a cualquier condición de vibración indeseable o inusual encontrada.

### **3.1.5 Reglas para la presentación de los resultados de las pruebas vibracionales**

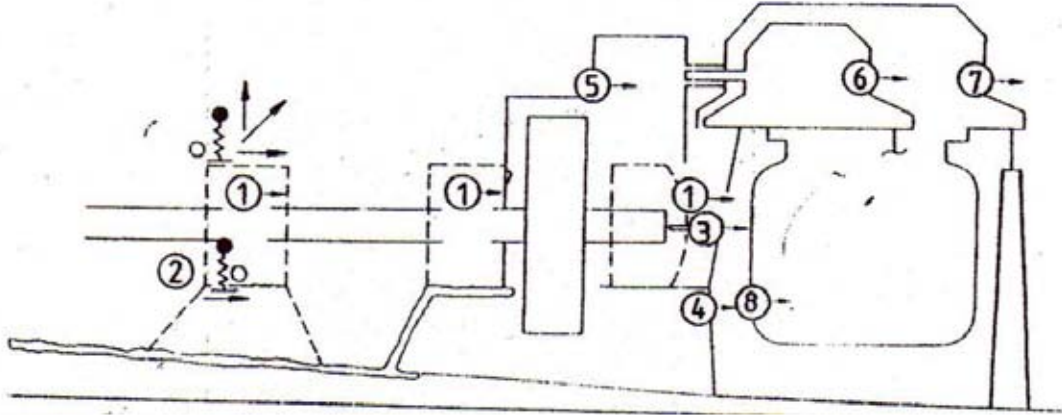
- a) Usar un gráfico para cada vibración vertical, longitudinal o céntrica del casco en la zona de popa.
- b) Usar un gráfico para cada vibración vertical, longitudinal o céntrica de los descansos del eje.
- c) Usar gráfico a la medida que sea requeridos para la maquinaria y vibraciones laterales del eje. Cada gráfico deberá identificar la ubicación de los transductores.

**Figura 4**  
**Ubicación de transductores para la vibración del motor principal**  
**(Accionamiento directo, motor diesel)**  
**(Según ISO 4867)**



**Figura 5**

**Ubicación de los transductores para vibraciones en un sistema propulsor de turbinas (Según ISO 4867)**

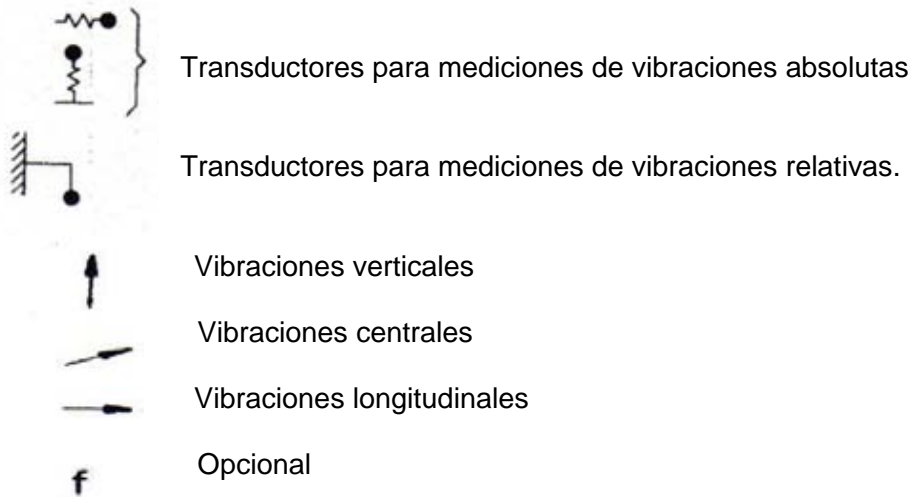
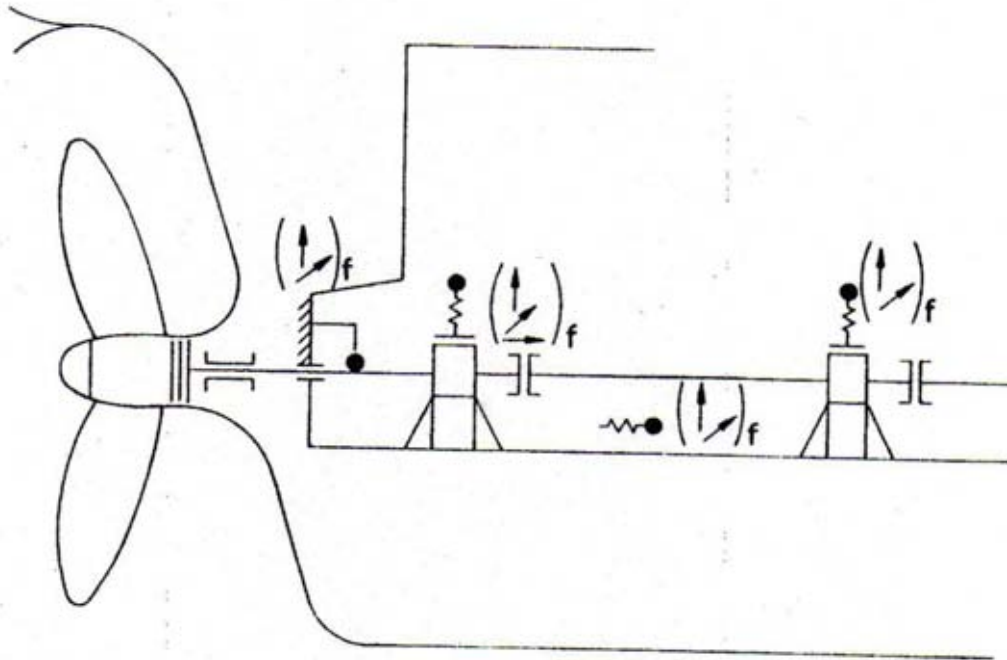


1. Caja de descanso de empuje. El croquis muestra tres posibilidades de la ubicación del descanso de empuje, por lo tanto las posiciones del transductor deben ser para una sola.
2. Fundamentos del bloque de empuje
3. Extremo de popa del acoplamiento del eje a la caja reductora. Ésta posición requiere de una sonda y de las medidas necesarias para tener acceso a la caja de engranajes.
4. Fundación de la caja de engranaje. En la parte superior de ésta y bajo de la línea de crujía del eje.
5. Parte superior de la caja de engranaje. Sobre la línea de crujía del eje.
6. Turbina de alta presión. Adjunta a la caja de la turbina de alta presión, al extremo de popa o proa.
7. Turbina de baja presión. Adjunta a la caja de la turbina de baja presión, al extremo de popa o proa.
8. Condensador. Montado lo más bajo posible y cerca del centro longitudinal.

Nota: Usar croquis del sistema de propulsión del buque en el cual las pruebas se hayan efectuado. Ver figura 4 para símbolos.

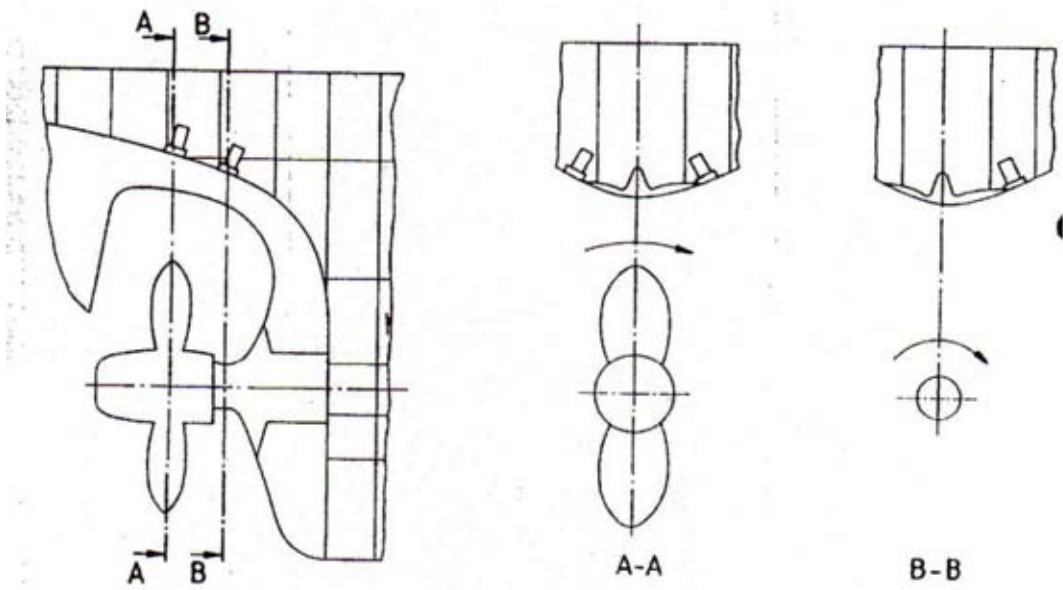
Figura 6

Localización de los transductores de vibración del extremo de popa de la línea de eje (opcional) (según ISO 4867)

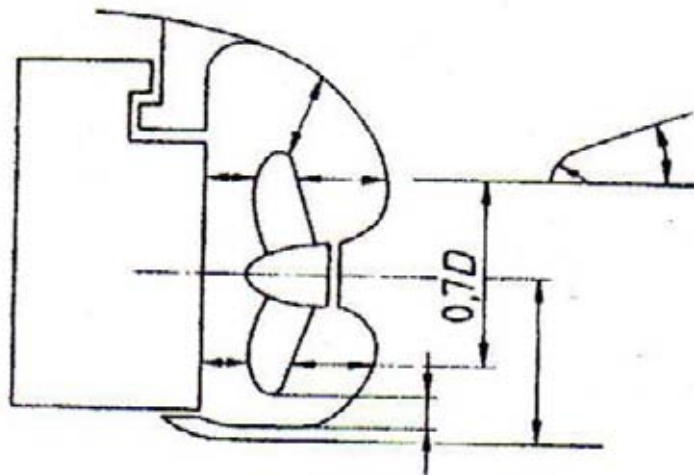


**Figura 7a**

Localización de transductores de presión  
(Según ISO 4867)

**Figura 7b**

Ejemplo de un croquis de claras de la hélice



# **PROTOCOLO DE PRUEBA DE VIBRACIONES EN BUQUES**

**Nombre del armador:.....**

**Nombre del inspector:.....**

**Fecha: .....**

**Tabla 1**  
**Características principales del buque en las pruebas**

Características principales del buque		Nombre del buque	
		Constructor / año de construcción	
<b>Casco</b>		<b>Maquinaria</b>	
Modelo y Tipo		Número, Clase y Tipo	
Clase		Año de construcción	
Construcción		Diam. Int. Y Carrera, mm	
		Número de cilindros	
Eslora Lpp, m		Potencia, kW	
Manga B modelada, m		Velocidad, r/min	
Calado T máx. de verano, m		Localización*	
Desplazamiento L max. De verano. T		Par de desbalanceamiento**	Mv1
Coef. De block Cb			Mv2
Deadweight, t			Mv3
Lightweigh, t		<b>Hélices</b>	
2do momento de área de la sección maestra, m	Iv	Número y tipo	
	Ih	Número de palas	
Área del arrufo de la sección maestra, m <sup>2</sup>	Av	Relación de área expandida	
	Ah	Sesgamiento en grados	
croquis de la sección maestra		Diámetro Dp, m	
		Velocidad, r/min.	
		Tipo y número de timones	
		Sketch de apertura la hélice***	
Notas			

\* Para motores diesel, será la distancia desde la perpendicular de popa hasta el centro del motor. Para turbinas la localización aproximada, por ejemplo en el centro, semi popa o en popa.

\*\* En el caso de motores que tienen fuerzas desbalanceadas y otra excitación es necesario describir los valores que deberán ser agregados en la columna con asteriscos.

\*\*\* Ver figura 4

**Tabla 2**  
**Características del sistema propulsor- hélice**

Características del sistema eje-hélice					Números de ejes					
					Velocidad máxima y normal, r/min					
					Tipo de material del rodamiento					
					Alineamiento del eje					
Partes Rotatorias					Partes estacionarias					
		Diámetro mm		Largo mm				Diámetro mm	C * mm	Soportes **
1	Eje de cola					a	Tubo codaste popa			
2	1er eje intermedio					b	Tubo codaste proa			
3	2do eje intermedio					c	1er descanso interm.			
4	3er eje intermedio					d	2do descanso interm.			
5	4to eje intermedio					e	3er descanso interm.			
6	eje de empuje					f	4to descanso interm.			
	Diámetro mm	masa t	Mom. De masa polar de in t x m <sup>2</sup>			g	5to descanso interm.			
						h	6to descanso interm.			
Segundo engrane de reducción						i	7mo descanso intermedio.			
Primer engrane de reducción						j	8vo descanso intermedio.			
Volante						k	9no descanso interm.			
<b>Zona a popa del eje</b>							l	Bloque de empujen		
Masa, t, y densidad, kg/m <sup>3</sup> , de la hélice							m	Acoplamiento a popa de rodamiento		
Mom. De masa polar de in. De la hélice, t x m <sup>2</sup>							n	Acoplamiento a proa de rodamiento		
				Rigidez N/m	Distancia mm	Croquis de la fundación del motor y sus dimensiones generales				
Soporte a pp del eje de cola					***					
Soporte a pr del eje de cola					****					
Rodamiento intermedio										
frecuencia natural, c / min	Modo	Lateral	Rotación Derecha	Rotación izquierda						
	1º									
	2º									
Croquis del sistema de ejes, la ubicación relativamente rotativa y estacionaria. Indicar largo de bujes (L) y (L/D)										

\* Distancia diametral

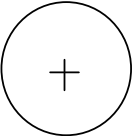
\*\* Por ejemplo en el doble fondo, en dirección de la hélice

\*\*\* Distancia entre el centro de gravedad de la hélice y el soporte a popa del eje de cola

\*\*\*\* Distancia entre dos soportes de ejes de cola.

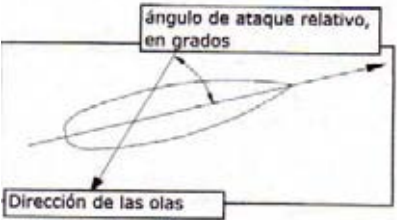


**Tabla 3**  
**Características de motores diesel o plantas conducidas por turbinas**

<b>Características del motor principal</b>							
Manufacturado por				Frecuencia Natural del eje y eje cigüeñal o caja de reducción y turbina, c / min *			
Clase							
Tipo				Modo	Longitudinal		
		Máximo	Normal	1º			
output, kW	Freno			2º			
	Eje						
Frecuencia rotacional, r / min				3º			
<b>Motor diesel principal</b>							
Número de cilindros				Masa y posición en dirección longitudinal y vertical del centro de gravedad relativo al eje cigüeñal			
Diámetro interior							
Carrera							
Orden de encendido	Indicar ángulo y numero de cilindros, pala de la hélice y marca de eventos funcionamiento delantero mirado hacia delante		Momento de masa polar de inercia relativo al eje cigüeñal				
				Orden	Fuerza N	Par N x m	
			Fuerza libre y pares debidos a desbalanceamientos	1º			
		2º					
			Fuerzas de guía (H) y pares (X)				
Croquis del eje cigüeñal o del sistema de caja de reducción con un dimensionamiento general							

\* Dar detalles de balaceadores, componedores o amortiguadores los cuáles podrían influir en la vibración

**Tabla 4**  
**Condiciones durante la medición de vibraciones**

Condiciones en las pruebas		Día	
		Lugar	
Estado de mar (Número de beaufort)		Tipo y características de los instrumentos de medición	
Altura de ola, m			
 <p>El diagrama ilustra un perfil de una ola con una línea horizontal que representa la superficie del agua. Una línea diagonal indica la 'Dirección de las olas'. Un ángulo entre esta línea diagonal y la tangente a la cresta de la ola en un punto específico se etiqueta como 'ángulo de ataque relativo, en grados'.</p>			
Profundidad del agua, m			
Calado Pr, m			
Calado Pp, m			
Desplazamiento en pruebas, t			
Inmersión de la hélice desde la línea			
Simetría del eje hasta la sup. del agua, m			
Plano de cargas			

**Tabla 5**  
**Resultados de la medición de vibraciones**

Listado de localización de las mediciones (referido al croquis)				Velocidad del eje r/min	Amplitud peak * y frecuencias, Hz						
Sección	Cuaderna	Item	Localización Transductor		Vertical		Central		Longitudinal		Notas
					**	Hz	**	Hz	**	Hz	
Buque:.....				Fecha de las pruebas:.....							

\* Se indican amplitudes ya sea de velocidad, aceleración o desplazamiento que sean tomadas

\*\* Anotar las siguientes unidades cuando sea necesario:

mm para desplazamiento

mm/s para velocidad (preferido)

mm/s<sup>2</sup> para aceleración

**Tabla 6**  
**Resultado de mediciones de vibraciones durante maniobras (opcional)**

Maniobra	Velocidad inicial en eje r/min	Orden * BR, 2xBR	Frecuencia, Hz y amplitud máxima **						
			Zona de popa			Ident. de otras localizaciones			
			Vertical	Central	Longitudinal	Vertical	Central	Longitudinal	
Viraje violento hacia babor									
Viraje violento a estribor									
Crashback (retroceso violento)									
Notas:									
Buque:.....					Fecha de las pruebas:.....				

\* Después del número de orden, identificar relación paso-diámetro (BR) o el doble de la relación paso-diámetro

\*\* Anotar las siguientes unidades cuando sea necesario:

mm para desplazamiento

mm/s para velocidad

mm/s<sup>2</sup> para aceleración

**Tabla 7**  
**Vibración longitudinal del sistema de propulsión durante las maniobras**  
**(opcional)**

Maniobras	Carrera Número	Vel. Rotatoria inicial del eje r/min	Frecuencia, Hz y amplitud máxima *							
			1 Tapa del descanso del eje	2 Fundación descanso del eje	3 Acoplamiento eje a caja red.	4 Fundación caja red.	5 Tapa caja red.	6 Turbina H.P	7 Turbina L.P	8 Condensador
Viraje violento hacia babor										
Viraje violento a estribor										
Crashback (retroceso violento)										

Después del número de orden, identificación paso-diámetro (BR) o el doble de la relación paso-diámetro

\* anotar las siguientes unidades cuando sea necesario:

mm para desplazamiento

mm/s para velocidad

mm/s<sup>2</sup> para aceleración

## **3.2 Medición y reporte de los datos locales de la vibración de las estructuras y del equipo de la nave**

Según la norma ISO 4868, el término "vibración local" como es usado en la industria de la construcción naval, se aplica a la reacción dinámica de un elemento estructural, un montaje de elementos estructurales, a la maquinaria o al equipo que vibra en una amplitud perceptiblemente mayor que en la localización de la viga básica del casco. Esta vibración puede ocurrir en una frecuencia de la viga del casco o de un componente de la maquinaria. Los ejemplos típicos incluyen la vibración de las piezas de la superestructura, de la chimenea, de la turbina, de la pipa o de la placa de la cubierta. Éstas vibraciones locales resultan generalmente de:

- La flexibilidad de los soportes de elementos estructurales
- Las características vibratorias de la maquinaria referidas

En el estándar internacional, el término "severidad de la vibración" se utiliza para describir las condiciones de la vibración en la nave y, basado en prácticas establecidas desde hace mucho tiempo en la industria. El valor máximo de la velocidad de la vibración se ha elegido como la cantidad primaria de las mediciones; sin embargo, muchos datos se han acumulado en términos de aceleración y desplazamiento de la vibración, una hoja donde los datos están trazados fácilmente y donde pueden ser trazados las cantidades de mediciones.

### **3.2.1 Alcance y campo de aplicación**

El estándar internacional establece los procedimientos uniformes para recopilar y presentar datos sobre vibraciones de elementos o del equipo estructural local en buques mercantes de alta mar. Los procedimientos, donde son aplicables, se pueden también utilizar para las naves y los barcos remolcadores. Tales datos, son necesarios para establecer uniformemente las características de la vibración presente en varios compartimientos a bordo de la nave, y proporcionar una base para las predicciones del diseño, mejoras y comparación contra niveles de referencia ambientales de la vibración o confiabilidad en relación con los criterios (de la máquina), seguridad (de estructuras) y habitabilidad. Los datos no se piensan para aplicarse a la evaluación de la vibración de máquinas con respecto a control del ruido o al diseño de la máquina o del equipo bajo consideración. Estos últimos casos requerirán el tratamiento de diagnóstico específico e incluirán generalmente una gama y una instrumentación especializada de frecuencia más amplia que necesario, para estas consideraciones generales.

Este estándar internacional, se refiere a la vibración local medida en elementos, la superestructura, cubiertas, tabiques herméticos, mástiles, máquinas, fundaciones, el equipo, etc, y se relaciona solamente con la medida y la divulgación de la vibración local de la estructura o del equipo montado sobre eso. La vibración local del excedente de la preocupación se puede causar por:

- a) Las tensiones debido a la vibración, por ejemplo en la estructura, en el equipo o los accesorios;
- b) La necesidad de mantener la operación sin problemas de la máquina o de otro equipo que se pudieron comprometer por el mal funcionamiento o la degradación de componentes
- c) La tensión física en el hombre (habitabilidad y funcionamiento)
- d) Los efectos de la vibración en su ambiente, tales como instrumentos adyacentes, las máquinas, equipos, etc.

La gama de frecuencia considerada, incluye las frecuencias rotatorias del eje de la propulsión, frecuencia rotatoria de máquinas y otras frecuencias significativas de las fuentes, tales como el paso del combustible, de la lámina o de la palas, etc.

Éste estándar internacional, da principios generales de la medida de vibración a bordo de las naves para mejorar la ingeniería de la vibración. Por lo tanto, en casos individuales, los artículos que se medirán se pueden seleccionar o agregar para resolver los puntos de la medida de la vibración de cada nave.

### **3.2.2 Medida de datos**

#### **3.2.2.1 Instrumentación**

La medida se debe hacer preferiblemente con un sistema electrónico que produce un expediente permanente. Los transductores pueden generar las señales proporcionales a la aceleración; velocidad o desplazamiento. El listado puede ser hecho en cinta magnética, papel oscilográfico o una combinación de éstas. El uso de papel oscilográfico durante las pruebas, significa que el trazado de las vibraciones puede ser inspeccionado directamente y es muy útil si se quiere evaluar problemas de vibraciones existentes. Cuando se registra el desplazamiento, velocidad o aceleración, las señales deseadas de la frecuencia baja, asociadas al movimiento vibratorio significativo, son los componentes principales de un rastro registrado. También estos son inmediatamente evaluados al sobrepasar las señales de frecuencias más altas con amplitudes de desplazamiento bajas.

La disposición se debe hacer para el control conveniente de la atenuación, para permitir al sistema acomodar una amplia gama de amplitudes.

Un marcador del acontecimiento se debe proporcionar en el eje del propulsor. Su posición con respecto al centro muerto superior del cilindro número 1 y de una lámina del propulsor debe ser observada.

El sistema que mide, se debe calibrar en el laboratorio antes de la prueba y es deseable comprobar la calibración de cada canal de la grabación antes de cada etapa de la prueba.

Los instrumentos electrónicos y mecánicos portátiles, capaces de medir varios puntos pueden ser utilizados.

### **3.2.2.2 Condiciones de prueba preferibles**

Las condiciones preferibles serán como sigue:

- a) La prueba se debe realizar en una profundidad de agua no menos que cinco veces el calado de la nave, con la maquinaria funcionando bajo condiciones normales, salvo que se especifique lo contrario;

**Nota:** Para los propósitos exploratorios, la prueba se puede realizar en aguas bajas si no hay razón de suponer que el agua baja influenciará los resultados.

- b) La prueba deberá ser llevada a cabo en mar calmo (estado de mar grado 3 ó menos).
- c) El buque deberá ser lastrado hasta un desplazamiento tan cerca como sea posible a las condiciones de operación, dentro de la capacidad normal de lastrado de está. El calado a popa deberá asegurar una inmersión completa del propulsor.
- d) Durante la prueba en ruta libre, el ángulo del timón deberá ser restringido a 2 grados a babor ó estribor (mínima acción del timón es deseada).
- e) Las máquinas individuales se pueden hacer funcionar en el aislamiento según lo requerido para investigar problemas particulares.

Cualquier divergencia de estas condiciones se debe indicar claramente en la tabla 4.



### **3.2.3 Localizaciones del transductor**

#### **3.2.3.1 Popa**

Medidas verticales, centrales y longitudinales, tan cerca como sea posible a la línea de crujía y a popa, establecer las características de la vibración de la viga del casco. La localización debe ser elegida de modo que los resultados no sean influenciados por efectos locales de la vibración.

#### **3.2.3.2 Superestructura**

Medidas verticales, centrales y longitudinales en el tabique hermético delantero de la superestructura, en un mínimo de tres diversos niveles de la cubierta.

#### **3.2.3.3 Estructura local**

Medidas verticales, centrales y longitudinales en cualquier estructura local donde ocurre evidencia de vibraciones locales.

#### **3.2.3.4 Travesía local de la cubierta**

Medidas verticales, centrales y longitudinales en un número suficiente de puntos en el área de la vibración local, para determinar la vibración relativa con respecto a la viga del casco.

#### **3.2.3.5 Vibración local de la maquinaria y del equipo**

Vibraciones verticales, centrales y longitudinales en el exterior de la maquinaria donde hay evidencia de las amplitudes grandes de la vibración.

### **3.2.4 Cantidades que se medirán**

Las cantidades que se medirán son las siguientes:

- a) Desplazamiento, velocidad, aceleración y presiones o deformaciones.
- b) Frecuencias en ciclos por segundo o ciclos por minutos.
- c) Frecuencia rotacional del eje (velocidad) en revoluciones por minutos o revoluciones por segundo.
- d) Fases, cuando sea apropiado.

### 3.2.5 Método de prueba

#### 3.2.5.1 Calibración del equipo generador de medidas

Cada canal se deberá comprobar después de que se termine la instalación, para asegurar las condiciones de trabajo apropiadas, el ajuste deseado de la amplificación y la posición en fase. Los chequeos se deben hacer en los intervalos regulares. La calibración debe ser registrada.

#### 3.2.5.2 Funcionamiento de medidas

Datos de registro en las condiciones siguientes:

- a) En la ruta libre, en incrementos de 3 a 10 r/min a partir de la mitad de la velocidad máxima. Puesta en funcionamiento con menores incrementos son requeridos a velocidades críticas cercanas a la velocidad de servicio.
- b) Funcionamientos de la ruta libres a las velocidades de operación;
- c) Los funcionamientos especiales a las velocidades divulgaron para causar vibraciones locales, según lo necesitado.

**Nota:** Para el funcionamiento en ruta libre, se le permite a la nave permanecer a una velocidad constante. Que lleve la velocidad por un suficiente tiempo para permitir el registro de máximo y mínimo del valor de la vibración (cerca de 1 minuto). En naves con múltiples ejes, todos los ejes deben funcionar tan cerca como sea posible a la misma velocidad, para determinar niveles totales de la vibración. En ciertos casos, puede ser preferible al funcionamiento con un solo eje para la determinación de los modos de la vibración.

### 3.2.6 Análisis y registro de la información

#### 3.2.6.1 Análisis

El análisis debe proporcionar para todos los funcionamientos lo siguiente:

- a) Severidad de la vibración en la frecuencia rotatoria del eje del propulsor para los transductores de la viga del casco;
- b) Severidad de la vibración en las frecuencias de la tarifa de la lámina para los transductores de la viga y de la maquinaria del casco;

- c) Severidad de la vibración de cada armónico perceptible de la frecuencia del eje o de la tarifa rotatoria de la lámina para los transductores de la viga y de la maquinaria del casco;
- d) Severidad de la vibración estructural local en todas las localizaciones de la medida;
- e) Forma del modo de vibraciones locales. Utilice la vibración de la viga del casco como referencia para la forma del modo;
- f) Severidad de vibraciones de la maquinaria o del equipo local en todas las localizaciones de la medida;
- g) Para las medidas opcionales adicionales, si está especificado, vea ISO 4867.

**Nota:** La presencia de efectos que baten, si los hay, debe ser observada, registrando los valores máximos y mínimos de la amplitud y de la frecuencia del golpe.

### 3.2.6.2 Reporte de datos

Los datos divulgados deben incluir lo siguiente:

- a) Las características principales del diseño de la nave:
  - 1.- Complete tablas 1, 2, 3 y 4.
  - 2.- Proporcione un bosquejo del perfil interior del casco y de la superestructura.
- b) Un bosquejo que demuestre localizaciones de la viga del casco y del transductor local de la vibración y sus direcciones de la medida;

**Nota:** Para las medidas de vibración locales, es importante que la posición exacta del transductor deba ser observada, puesto que cambios muy pequeños en la posición pueden conducir a cambios grandes en la amplitud medida.

- c) Diagramas del desplazamiento, amplitudes de la velocidad o de la aceleración contra la velocidad para la frecuencia rotatoria del eje, tarifa de la lámina o armónico de eso. Haga uso de las formas de la clase demostrada en el Figura Nº 10 usando las reglas dadas en la tabla 6. Los diagramas lineales pueden también ser utilizados;
- d) Perfiles de la vibración local de la cubierta en cada resonancia del puerto al estribor y del más cercano a popa al tabique hermético estructural delantero más cercano;

- e) Tablas de todas las severidades significativas de la vibración y su localización y frecuencia. Incluya la frecuencia rotatoria del eje, para la vibración maquinaria-excitada;
- f) Todas las frecuencias naturales de la viga identificadas de medidas severas y cualquier condición inusual de la vibración encontrada;
- g) Condiciones atmosféricas durante las medidas, incluyendo estado del mar y la dirección concerniente a la nave;
- h) Método de análisis de resultados;
- i) Tipo de instrumento usado.

### **3.2.7 Reglas para la presentación de los resultados de la prueba de la vibración**

- a) Utilice un gráfico cada uno (véase el figura N° 10) para la vertical, de babor a estribor y la vibración longitudinal del casco en la popa.
- b) Utilice un gráfico cada uno (véase el Figura N° 10) por cada uno para todos los puntos que miden y direcciones de la medida.

### **3.3 Vibraciones mecánicas de motores con velocidades de operación desde 10 a 200 rev/seg.- bases para la elaboración de normas de evaluación.**

Según la norma ISO 2372, los problemas de ruido y control de vibraciones han tomado importancia dentro de la tecnología mecánica y electromecánica con los aumentos de potencia, y el continuo aumento en la velocidad en el día a día de las máquinas rotativas. Como consecuencia más restricciones han tenido llegada dentro de la calidad operativa de las máquinas.

Este estándar internacional concierne sólo a la severidad de las vibraciones mecánicas de motores individuales y no con la energía irradiada desde cada parte independiente. Las únicas vibraciones consideradas son aquellas ocurridas en la superficie de las maquinas, en los rodamientos, o en los puntos de montaje en el rango de frecuencias desde 10 a 1000 hz.

La evaluación toma en consideración general lo siguiente:

- Características del motor.
- Esfuerzos debidos a las vibraciones en el motor (por ejemplo rodamientos, partes unidas al motor, descansos, etc)
- La necesidad de mantener el motor sin problema de operación, para no ser arruinada por el mal funcionamiento o degradación de los componentes, por

lo cual, excesivas deflexiones del rotor, las cuales ocurren cuando pasa por una resonancia o por juntas sueltas como resultado del movimiento de fuerzas, entre otros.

- Características de los instrumentos de medición.
- Capacidad física y mental del personal.
- Los efectos de las vibraciones del motor en el entorno de instrumentos adyacentes, motores, etc.

Las mediciones de vibraciones podrían probar solo una indicación de la condición de los movimientos o esfuerzos vibratorios en un motor. Éstos no necesariamente nos entregan una evidencia actual de los esfuerzos vibratorios actuales o movimientos en las zonas críticas, tampoco nos aseguran de que excesivas vibraciones locales no ocurren en el motor (debido a una resonancia interna). En particular las vibraciones internas de las partes rotativas pueden no ser siempre tan exactamente indicadas por vibraciones tomadas en la superficie.

También en algún caso los factores mencionados anteriormente se pueden tratar teóricamente. Es ventajoso y puede ser decisivo para la utilidad de una prueba que un solo valor se utilice para definir el estado vibratorio de la prueba de la máquina. Para aplicaciones industriales de todas formas, es recomendable usar una unidad de medida representativa y pueda ser representada en escala única. Las unidades de medidas deberán asegurar una evaluación apropiada par la mayoría de los casos que ocurran en la práctica. Por ejemplo la evaluación indicada no deberá contradecir experiencias obtenidas previamente.

En éste estándar internacional, el término de “severidad vibracional”, es usado como base de clasificación y con base de consideraciones teóricas y experiencia práctica. El promedio de la desviación estándar de la velocidad de la vibración ha sido escogido como unidad de medida para la indicación de la severidad vibracional.

### **3.3.1 Campo de aplicación**

Estos estándares internacionales, definen la base para las especificaciones a ser empleadas en la evaluación de vibraciones mecánicas de los motores con rango operativo de entre 10 a 200 rev/s, de tal manera que las comparaciones son posibles con medidas obtenidas desde motores similares.

El propósito de las reglas es evaluar la vibración “normal” de motores con respecto a la confiabilidad, seguridad y percepción humana. No es aplicable a la evaluación de vibraciones de motores a control de ruido, o en general, a motores

inusuales o especiales que no son producidas en cantidades significativas, o de motores que necesitan un estudio de sus características vibratorias. Este último caso generalmente necesitará un diagnóstico de tratamiento especial, que incluye un mayor rango de frecuencia y una instrumentación más especializada que la considerada necesaria para estas recomendaciones generales.

Este estándar internacional, incluye una explicación de los términos, guía para la medición y tabla para las mediciones de rangos de severidad vibracional recomendados.

### 3.3.2 Explicación de los términos

La velocidad vibracional ha sido seleccionada como el parámetro significativo que caracteriza la severidad vibracional en motores.

Para vibraciones armónicas con una velocidad instantánea de  $v_i = v_i \cos \omega t$  (donde  $v_i$  se refiere al valor pick) y vibraciones que consisten de un número de vibraciones armónicas superpuestas de frecuencias distintas, por definición el valor promedio de la desviación estándar es usada como medida para la severidad vibracional. Puede ser medida y registrada directamente de instrumentos eléctricos con características cuadráticas.

Desde las mediciones de velocidades de vibración versus tiempo, el valor rms de la velocidad oscilatoria puede ser calculado como sigue.

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v^2(t) dt}$$

Del análisis del espectro de velocidad, se determina los valores de magnitudes de desplazamiento "s", aceleración "a" y velocidad "v". La velocidad rms se calcula de la siguiente manera:

$$v_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \times \left[ \left(\frac{a_1}{\omega_1}\right)^2 + \left(\frac{a_2}{\omega_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{a_n}{\omega_n}\right)^2 \right]}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \times (s_1^2 \omega_1^2 + s_2^2 \omega_2^2 + \dots + s_n^2 \omega_n^2)}$$

$$v_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \times (v_1^2 + v_1^2 + \dots + v_n^2)}$$

En el caso que la vibración consista sólo de las frecuencias significativas que se repitan regularmente  $v_{min}$  y  $v_{max}$ ,  $v_{rms}$  pueden ser obtenidas de la siguiente relación:

$$v_{rms} = \sqrt{\left(\frac{1}{2}\right) \times (v_{max}^2 + v_{min}^2)}$$

Las localizaciones de importancia para la medición de vibración pueden ser los descansos del motor o los rodamientos.

Los componentes de la vibración horizontal y/o vertical de la vibración en estas ubicaciones, pueden dar una medida directa de una condición dinámica indeseable en el motor, por ejemplo un desbalanceamiento importante.

### **3.3.3 Guía general para medir vibraciones, donde se obtendrá la severidad vibracional**

En general esta guía, solamente se consideran las condiciones más importantes. En casos específicos, puede ser recomendable incluir otras condiciones especiales

#### **3.3.3.1 Equipamiento de medición**

Éstos deben cumplir en lo posible con las medidas de los estándares internacionales.

Deben tomarse las precauciones para asegurar que el instrumento opera de forma precisa dentro del rango de frecuencias y velocidad en cuestión, y bajo las condiciones climáticas predominantes como temperatura, campo magnético, terminación de la superficie.

La respuesta y precisión del instrumento dentro del complejo rango deberá conocerse.

Es aconsejable usar instrumentos que hayan sido calibrados por una autoridad reconocida.

El sistema de medición deberá ser calibrado antes de ser usado.

#### **3.3.3.2 Medición de los soportes del motor**

El soporte del motor puede influir significativamente en los niveles vibracionales. El soporte a ser utilizado debe ser especificado en un documento de relevancia. Tres diferentes condiciones de soporte son considerados a continuación.

### **3.3.3.2.1 Montaje flexible del motor**

Los niveles vibratorios son más fácilmente obtenibles. El motor debe ser soportado por un sistema de cierta flexibilidad, de tal manera que la más baja frecuencia natural del motor en las prueba de montaje, sea menor que un cuarto de la menor frecuencia de excitación. En motores con componentes rotatorios de cierta masa, la frecuencia natural deberá ser menor que un cuarto de la menor frecuencia de excitación de la unidad. Añadiendo la masa efectiva de este sistema flexible que no deberá exceder de un décimo de la masa del motor. (Figura 8)

### **3.3.3.2.2 Montaje del motor en descansos de montaje suave**

Los niveles de vibración serán considerados solamente cuando el motor se encuentre en estos descansos. Dos categorías de descansos podrían ser usados:

- a) Descansos los cuales son más livianos que el motor, los cuales están solo orientados a que el motor esté rígido. En éste caso la masa de los descansos deberán ser menor a un cuarto de la masa del motor.
- b) Descansos que son más pesados que el motor, como durmientes rígidos, los cuales están orientados a fijar los polines del motor en un espacio. En éste caso la masa de los descansos deberá ser de al menos dos veces lo del motor.

En cualquier caso, no deberán ocurrir resonancias importantes en la camada dentro de los rangos de operación del motor. Los descansos con el motor rígidamente unidos será suavemente montado, de tal manera que la frecuencia natural del cuerpo rígido de la combinación descanso-motor es menor que un cuarto de la menor frecuencia incitadora de importancia del motor.

### **3.3.3.2.3 Montaje del motor en fundación rígida.**

Cuando el motor sea de cierto tamaño que no puede ser flexiblemente montado. Es generalmente montado en una fundación estructural. En esos casos, una comparación válida de los niveles de severidad vibracional podrían solamente ser hechos si la fundación que incluya alguna cubierta o piso, posee características similares.

### **3.3.3.3 Puntos de medición**

Los puntos de medición deberán ser elegidos donde la energía de la vibración es transmitida al montaje flexible o a otras partes del sistema. Para motores que incluyen masa rotatoria, los rodamientos y los puntos de montaje del motor son puntos preferentemente de medición. En casos individuales pueden ser



recomendables elegir otros puntos de la medida, por ejemplo los puntos que se muestran en la figura 9. Las mediciones se pueden hacer en las tres direcciones axiales.

#### **3.3.3.4 Condiciones operacionales durante las pruebas**

Las condiciones operacionales como temperatura, carga, velocidad, etc., deberán especificarse antes de las pruebas. Para motores de velocidad variable, las mediciones deberán ser hechas en bastantes velocidades para encontrar las frecuencias de resonancia y evaluar sus efectos en las características de las vibraciones medidas.

#### **3.3.4 Escala para la evaluación de la intensidad de las vibraciones**

Las vibraciones con las mismas rms, de velocidad, dentro de las frecuencias de 10 a 1000 Hz son considerados de igual severidad. Rangos que excedan la clasificación de evaluaciones deberán estar en un rango de entre 1:1,6, dando pasos de 4 db entre niveles de severidad. A una diferencia de 4 db ocurre un aumento de la velocidad (o disminución) lo cual presenta un cambio significativo en la respuesta vibratoria en la mayoría de los motores.

Esto permite la construcción de una escala general similar a la de la tabla 8, la cual es independiente y no se restringe a ningún grupo en particular de motores. Por lo cual el término severidad vibracional, puede ser usado de tal manera que no depende de factores individuales, por éste efecto es un parámetro independiente que puede ser usado para construir cualquier clasificación de evaluación requerida.

**Tabla 8**

Rango de severidad vibracional (10 – 1000 Hz)

Rango clasificatorio	Rango de velocidad (rms) (valor efectivo de velocidad vibracional)			
	mm/s		m/s	
	sobre	hasta	sobre	hasta
0,11	0,071	0,112	0,0028	0,0044
0,18	0,112	0,18	0,0044	0,0071
0,28	0,18	0,28	0,0071	0,011
0,45	0,28	0,45	0,011	0,0177
0,71	0,45	0,71	0,0177	0,028
1,12	0,71	1,12	0,028	0,0441
1,8	1,12	1,8	0,0441	0,0709
2,8	1,8	2,8	0,0709	0,1102
4,5	2,8	4,5	0,1102	0,1772
7,1	4,5	7,1	0,1772	0,2795
11,2	7,1	11,2	0,2795	0,4409
18	11,2	18	0,4409	0,7087
28	18	28	0,7087	1,1024
45	28	45	1,1024	1,7716
71	45	71	1,7716	2,7953

### 3.3.5 Ejemplo de clasificación

A continuación se establecerá una clasificación muy simple para maquinaria, la cual no es completamente mandataria, pudiendo existir otras clasificaciones a las condiciones propuestas, siendo ésta la más aplicable (según ISO 2372).

- |           |  |
|-----------|--|
| Clase I   | Partes individuales de maquinarias, conectadas íntegramente con la máquina en su condición normal de operación. Como ejemplo son los motores eléctricos hasta 15 [kW].   |
| Clase II  | Máquinas de medio tamaño, (ejemplo: motores eléctricos de 15 hasta 75 [kW] de salida) sin fundaciones especiales, máquinas con montaje rígido con fundamento especial de hasta 300 [kW].   |
| Clase III | Grandes movimientos primarios y otras grandes máquinas con masa rotativa montadas en fundaciones rígidas y pesados, los cuales están relativamente rígidos en la dirección de la medición de la vibración.   |
| Clase IV  | Grandes movimientos primarios y otras grandes máquinas con masa rotativa montadas en fundaciones, que son relativamente suaves en la dirección de la medición de la vibración. (Ejemplo: turbogeneradores con subestructura liviana).  |
| Clase V   | Máquinas o sistemas de transmisión mecánica con esfuerzos de inercia desbalanceados (debido a partes de movimientos recíprocos), montados en fundamentos, los cuales están relativamente rígidos en la dirección de la medición de la vibración.   |
| Clase VI  | Máquinas o sistemas de transmisión mecánica con efectos de inercia desbalanceados (debido a partes de movimientos recíprocos), montados en fundamentos, los cuales están relativamente flexible en la dirección de la medición de la vibración; máquinas con masa rotativa acopladas en conductos verticales, como los ejes de los ventiladores; máquinas centrífugas, con desbalances variables capaces de operar como unidades completas sin componentes acoplados; harneros vibratorios, máquinas de testeo de fatiga dinámica y excitadores vibratorios utilizados en plantas de procesamientos. |

Para las clases V y VI, especialmente las recíprocas, han sido difíciles de clasificar los rangos, debido a la gran diversidad de fuerzas de inercia que actúan, así como las formas de ser construidas, por lo tanto existen muchas características en las vibraciones que deben ser consideradas, se recomienda seguir las indicaciones del fabricante.

Para máquinas de clase V, los valores de velocidad rms pueden alcanzar hasta 20 a 30 (mm/s) y mayores sin causar problemas.

Las recientes máquinas de la clase VI permiten una mayor tolerancia al respecto, llegando a medir valores rms de velocidad de 50 (mm/s) y mayor en motores con alta velocidades rotacional. Elementos adjuntos pueden llegar a tener mayores velocidades que las mencionadas anteriormente, debido a que están frecuentemente sujetas a efectos de resonancia. Mientras pasen a través de esta; valores RMS de velocidad pueden alcanzar el orden de 500 (mm/s) por pequeños intervalos.

A continuación se muestra una tabla con criterios de calidad sugeridos según los siguientes rangos:

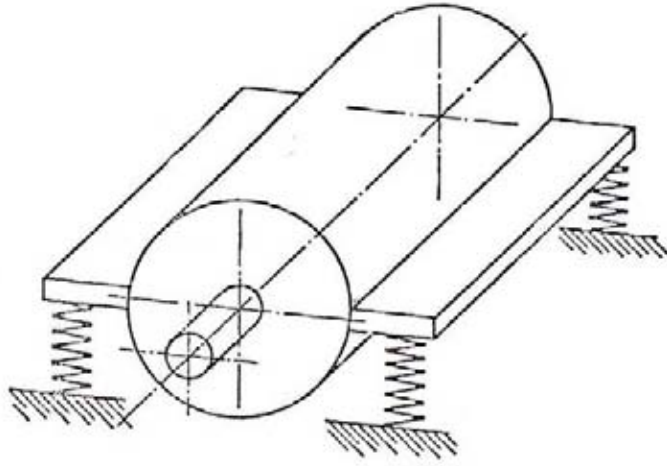
- A: Bueno
- B: Permisible
- C: Tolerable
- D: No tolerable

Rango de vibraciones severas		Ejemplo de criterio de calidad de acuerdo a clases de maquinas			
Rango	Velocidad RMS (mm/s) a los limites del rango	Clase I	Clase II	Clase III	Clase IV
0,28	0,28	A	A	A	A
0,45	0,45				
0,71	0,71				
1,12	1,12	B	B	B	B
1,8	1,8				
2,8	2,8	C	C	C	C
4,5	4,5				
7,1	7,1				
11,2	11,2	D	D	D	D
18	18				
28	28				
45	45				
71	71				

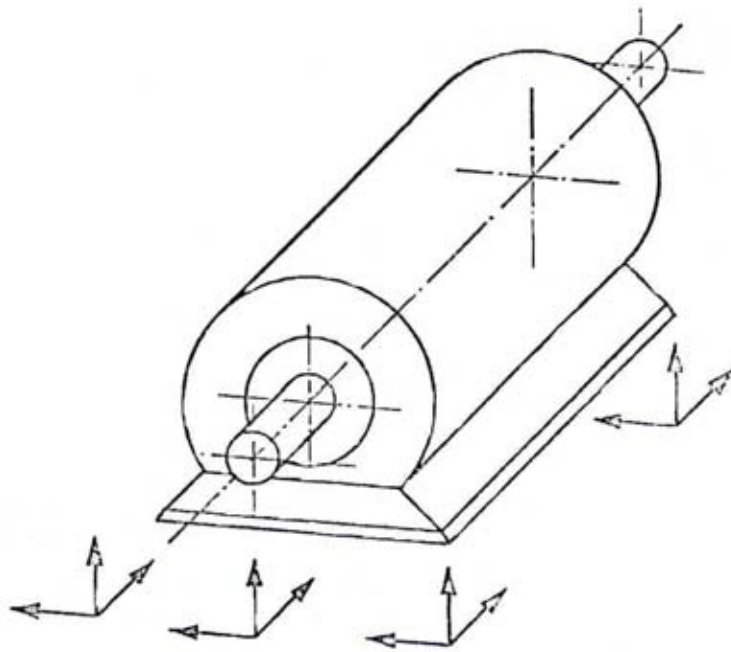
(Según ISO 2372)

**Figura N° 8**

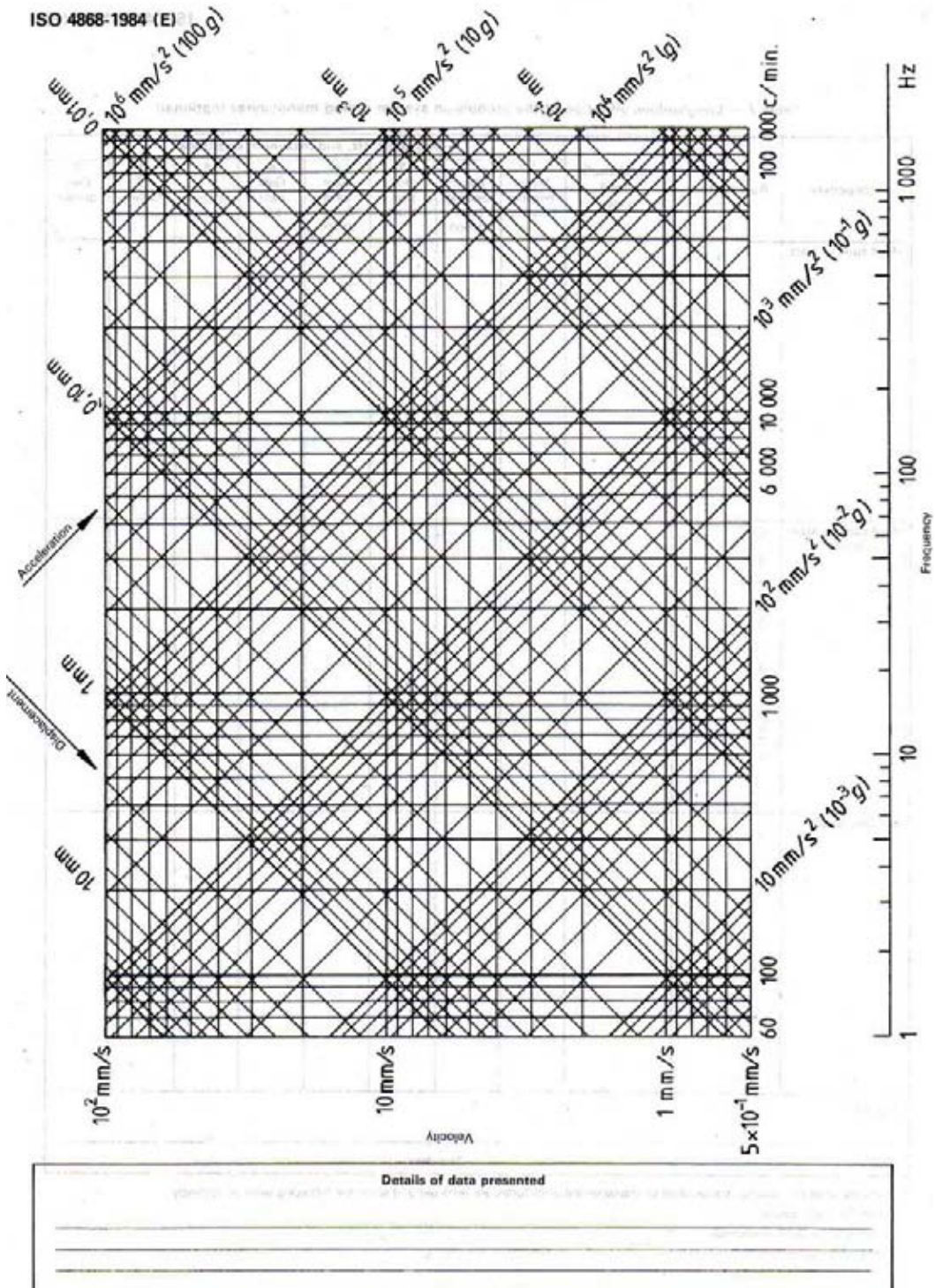
Arreglo esquemático de un montaje flexible, de la prueba de suspensión de la máquina

**Figura N° 9**

Posibles puntos de medición en máquinas pequeñas



**Figura Nº 10**  
 Dato de vibración local



## **Capítulo IV**

### **Instrumentación y análisis de vibración**

#### **4.1 Análisis de vibraciones**

Las vibraciones son un efecto. Cuando se realiza un trabajo de diagnóstico, siempre se busca el efecto para tratar de descubrir la causa. Éste trabajo de diagnóstico está compuesto de dos datos:

- Obtención de datos de una manera sistemática;
- Interpretar los datos e identificar los problemas.

Para cumplir con el primero de éstos objetivos, uno de los primeros pasos a seguir en el análisis de vibraciones en una máquina es obtener un valor "global" de las vibraciones, para poder determinar la condición general de la misma. Estas mediciones deben realizarse en distintos puntos y en tres direcciones, vertical, horizontal y axial. Algunos puntos importantes para la medición de las vibraciones son los ubicados sobre los cojinetes o cerca de ellos, porque es a través de los cojinetes por donde se transmiten la fuerza de vibración. Las mediciones en distintas direcciones son necesarias debido a que algunos problemas de máquinas rotativas se manifiestan más en alguna dirección que en otra.

En general las mediciones de vibraciones globales se realizan en forma de velocidad (mm/seg), debido a que las mediciones de velocidad son la mejor indicación para evaluar la severidad de las vibraciones en el rango normal de frecuencias de giro de las máquinas rotativas usuales (de 10 a 1000 Hz). El valor global de vibraciones obtenido, comparado con los valores recomendados por el fabricante de la máquina, da una idea de la condición mecánica de la misma. En ausencia de valores recomendados por el fabricante, existen tablas y normas que pueden utilizarse al efecto. En la Tabla 9 se presentan los valores característicos de amplitudes de vibración en maquinarias relacionadas con la condición mecánica de la misma, estipulados por la norma ISO 3945-1985.



**Tabla Nº 9**  
**Valores de referencia de amplitud de vibración para analizar la condición**  
**mecánica de una máquina (según ISO 3945-1985)**

SEVERIDAD DE VIBRACIONES RMS (mm/seg)	TIPO DE SOPORTE	
	RIGIDO	FLEXIBLE
0,46	Bueno	Bueno
0,71		
1,12		
1,8		
2,8	Satisfactorio	Satisfactorio
4,6		
7,1	No Satisfactorio	No Satisfactorio
11,2		
18	Inaceptable	Inaceptable
28		
71		

El análisis de vibraciones en maquinarias se basa en el hecho de que en muchos casos es posible relacionar las frecuencias de vibración con el problema específico encontrado, mientras que la amplitud de la misma, da una indicación de la severidad del problema.

En la Tabla Nº 10 se presenta un listado de las frecuencias comúnmente encontradas en espectros de vibración de maquinarias, junto con las causas probables de los problemas asociados a las mismas.

Tabla N° 10

## Frecuencias de vibración y origen probable de falla

FRECUENCIA	CAUSAS PROBABLES DE FALLAS
1x RPM	Desbalanceo, engranajes o poleas descentradas, Desalineamiento o ejes flexionado, resonancia, problemas eléctricos, fuerzas alternativas
2 x RPM	Huelgos o juegos mecánicos, desalineamiento, fuerzas alternativas, resonancias
3 x RPM	Desalineamiento, combinación de huelgos mecánicos axiales excesivos con desalineamiento
menor a 1 x RPM	Remolino de aceite (oil whirl) en cojinetes o rotores
Frec. De línea	Problemas eléctricos
Armónicas de RPM	Engranajes dañados, fuerzas aerodinámicas, fuerzas hidráulicas, huelgos o juegos mecánicos, fuerzas alternativas
Alta frecuencia (no armónicas)	Cojinetes antifricción en mal estado

Como puede apreciarse en esta tabla, existen numerosos problemas mecánicos y eléctricos que pueden originar espectros de frecuencia similares. En estos casos es necesario obtener información adicional, ya sea a través de la medición de las vibraciones en distintas direcciones, como así también analizando los espectros obtenidos en distintas condiciones de operación de la máquina o analizando transitorios como los de arranque y detención de la máquina o relaciones de fase entre puntos de medición.

## 4.2 Instrumentación

En cuanto a los equipos a utilizar, es posible separarlos en dos grupos:

- 1 Equipamiento para medición local:** Estos equipos registran la vibración en apenas un punto y entregan información sobre la amplitud del movimiento de la vibración. Este tipo de equipo es utilizado para determinar la respuesta en el sistema de propulsivo.
- 2 Equipamiento para una medición simultánea:** Estos equipos permiten una medición simultánea de varios puntos de una estructura. La gran ventaja que tiene éste tipo de equipo es la posibilidad de calcular la relación de fases entre los puntos medios y de ésta forma, determinar el modo de vibración de la estructura.

### 4.2.1 Vibrómetro VC- Check

El vibrómetro es ideal para el personal de inspección que desee realizar un análisis rápido de componentes vibratorios, máquinas e instalaciones. Este vibrómetro muestra la aceleración y la velocidad de vibración directamente en la pantalla. Con este aparato podrá detectar el desequilibrio y los daños producidos en los rodamientos de un modo rápido y seguro.

Además este instrumento es pequeño, ligero y de manejo sencillo, opera según ISO 2372 y con certificado de calibración ISO.



### 4.2.2 Transductor

El transductor de vibraciones es un aparato que produce una señal eléctrica, que es una réplica o análogo del movimiento vibratorio al cual está sujeto. Un buen transductor no debe agregar falsos componentes a la señal, y debería producir señales uniformes en todo el rango de frecuencias que nos interesa.

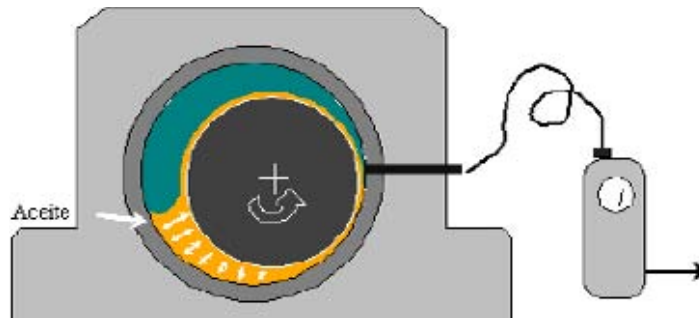
Los tipos diferentes de transductores responden a parámetros diferentes de la fuente de vibración, en ellos tenemos:

#### 4.2.2.1 Sensor de proximidad

El sensor de proximidad, también llamado "Sensor de Corriente de Remolino", o "Transductor de Desplazamiento" es una unidad de montaje permanente, y necesita un amplificador que condiciona la señal para generar un voltaje de salida, proporcional a la distancia entre el transductor y la extremidad de la flecha. Su operación está basada en un principio magnético, y por eso, es sensible a las anomalías magnéticas en la flecha. Se debe tener cuidado para evitar que la flecha sea magnetizada y que de ésta manera, la señal de salida sea contaminada. Es importante saber que el transductor mide el desplazamiento relativo entre el

rodamiento y el gorrón, y no mide el nivel de vibración total de la flecha o del carter.

El transductor de desplazamiento está por lo general instalado en grandes máquinas con rodamientos con gorriones, donde se usa para detectar fallas en los rodamientos y para apagar la máquina antes que ocurra una falla catastrófica.



Esos transductores se usan mucho en pares, separados por una diferencia de orientación de 90 grados. Se pueden conectar a los platos horizontales y verticales de un osciloscopio para señalar la órbita o la ruta del gorrón, cuando está dando vueltas en el rodamiento.

La frecuencia de respuesta del transductor de desplazamiento va desde DC (0 Hz) hasta alrededor de 1 000 Hz.

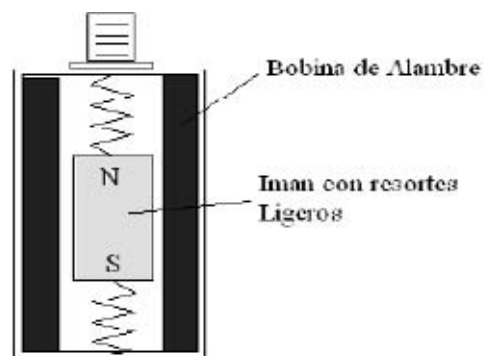
#### 4.2.2.2 Sensor de velocidad

Algunos sensores de velocidad están hechos con una bobina móvil fuera de un imán estacionario. El principio de operación es el mismo. Otro tipo de transductor de velocidad, consiste en un acelerómetro con un integrador electrónico incluido. Esta unidad se llama Velómetro y es en todos los aspectos superiores al sensor de velocidad sísmico clásico.

El sensor de velocidad, fue uno de los primeros transductores de vibración, que fueron construidos. Consiste de una bobina de alambre y de un imán colocado de tal manera que si se mueve el carter, el imán tiende a permanecer inmóvil debido a su inercia. El movimiento relativo entre el campo magnético y la bobina induce una corriente proporcional a la velocidad del movimiento. De ésta manera, la unidad produce una señal directamente proporcional a la velocidad de la vibración. Es autogenerador y no necesita de aditamentos electrónicos acondicionados para funcionar. Tiene una impedancia de salida eléctrica relativamente baja que lo hace relativamente insensible a la inducción del ruido.

Aún tomando en cuenta éstas ventajas, el transductor de velocidad tiene muchas desventajas, que lo vuelven casi obsoleto para instalaciones nuevas,

aunque hoy en día todavía se usan varios miles. Es relativamente pesado y complejo, por eso es caro, y su respuesta de frecuencia que va de 10 Hz a 1000 Hz es baja. El resorte y el imán forman un sistema resonante de baja frecuencia, con una frecuencia natural de 10 Hz. La resonancia tiene que ser altamente amortiguada, para evitar un peak importante en la respuesta a esta frecuencia. El problema es que la amortiguación en cualquier diseño práctico es sensible a la temperatura, y eso provoca que la respuesta de frecuencia y la respuesta de fase dependan de la temperatura.



**Sensor de Velocidad**

#### 4.2.2.3 Acelerómetro

El acelerómetro de tipo de compresión como se muestra en el diagrama fue el primer tipo a ser desarrollado. Por lo general se prefiere el acelerómetro del tipo de cizallamiento, configurado de tal manera que el elemento activo está sujeto a fuerzas de cizallamiento.

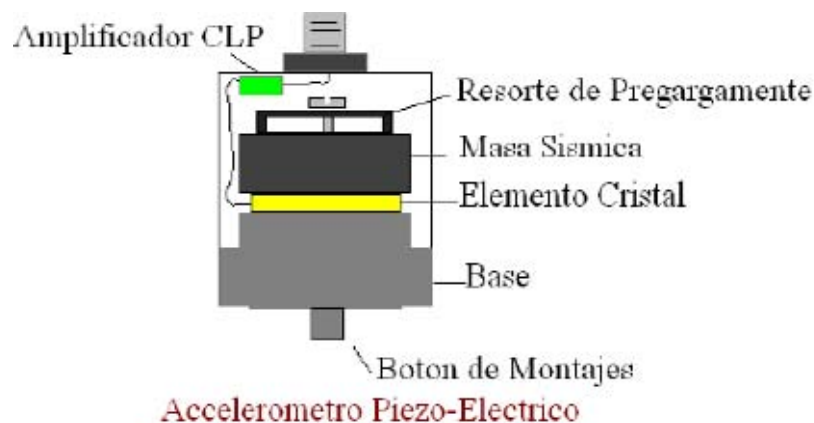
También hay otros tipos de diseños para acelerómetros.

Se puede considerar al acelerómetro piezo eléctrico como el transductor estándar para medición de vibración en máquinas. Se produce en varias configuraciones, pero la ilustración del tipo a compresión sirve para describir el principio de la operación. La masa sísmica está sujeta a la base con un perno axial, que se apoya en un resorte circular. El elemento piezo eléctrico, está ajustado entre la base y la masa. Cuando una materia está sujeta a una fuerza, se genera una carga eléctrica entre sus superficies. Hay muchas materias de este tipo. Cuarzo se usa más. También hay materias piezo eléctricos sintéticos que funcionan bien y en algunos casos son capaces de funcionar a temperaturas más altas que el cuarzo lo puede hacer. Si se incrementa la temperatura de un material piezo eléctrico, se va llegar al llamado "punto curie" o "temperatura curie" y se va perdiendo la propiedad

piezo eléctrica. Una vez que esto pasa, el transductor está defectuoso y no se puede reparar.

Cuando se mueve el acelerómetro en la dirección arriba abajo, la fuerza que se requiere para mover la masa sísmica esta soportada por el elemento activo. Según la segunda ley de Newton, esa fuerza es proporcional a la aceleración de la masa. La fuerza sobre el cristal produce la señal de salida, que por consecuente es proporcional a la aceleración del transductor. Los acelerómetros son lineales en el sentido de la amplitud, lo que quiere decir que tienen un rango dinámico muy largo. Los niveles más bajos de aceleración que puede detectar son determinado únicamente por el ruido electrónico del sistema electrónico, y el límite de los niveles más altos es la destrucción del mismo elemento piezo eléctrico. Este rango de niveles de aceleración puede abarcar un rango de amplitudes de alrededor de 10, lo que es igual a 160 db. Ningún otro transductor puede igualar esto.

El acelerómetro, piezo eléctrico, es muy estable sobre largos periodos. Mantendrá su calibración si no se le maltrata. Las dos maneras de que se puede dañar un acelerómetro son la exposición a un calor excesivo y la caída en una superficie dura. Si se cae de una altura de más de un par de pies, en un piso de concreto, o en una cubierta de acero, se debe volver a calibrar el acelerómetro para asegurarse que el cristal no se cuarteó.



#### 4.2.3 Vibrotip

El Vibrotip es un instrumento portátil y de fácil manejo, capaz de almacenar los datos obtenidos y traspasarlos al software en la computadora, éste instrumento es capaz de tomar cinco tipos de medidas, los rodamientos, la severidad de las vibraciones, la temperatura líquida y superficial, la cavitación y las RPM de la máquina.

El vibrotip es certificado por la Germanischer Lloyd y esto se puede apreciar en el anexo I



#### 4.2.4 Vibrastop

Es un monitor que protege máquinas contra fallas mecánicas controlando que los niveles de vibraciones, temperaturas, contaminaciones, presiones, y otras variables se mantengan dentro del rango de operación normal. VibraSTOP puede señalar las alarmas detectadas hacia un PLC, sistemas SCADA o detener la máquina para su protección.

Éste instrumento puede ser utilizado para proteger las siguientes máquinas:

- Motores eléctricos
- Bombas
- Ventiladores
- Compresores
- Centrifugas
- Generadores
- Reductores

El vibrastop mide la velocidad de las vibraciones de acuerdo a las normas ISO 2372 y VDI 2056 en mm/s RMS o en in/sec, además posee dos relays para señalar los estados de alarma o peligro que permiten detener la máquina, muestra las mediciones y estados de alarma en el display y permite la programación de los niveles de alarma y peligro desde el teclado



#### 4.2.5 Sistema de monitoreo

Son muy útiles para llevar a cabo una cuidadosa mantención preventiva, esta se justifica en máquinas de elevados costo e importancia en el proceso de una industria. Los monitoreos de detección de vibración, consiste en sensores que se fijan a los descansos, pueden ser controlados por operadores o activar automáticamente algún dispositivo de alarma e incluso los hay que paren la máquina, si el nivel de amplitud de vibración excede un cierto nivel fijado de antemano, lo mas usual es que se establezcan dos niveles; el primero indicará que está llegando a niveles peligroso, en éstos casos es conveniente un sistema de alarma, el segundo indicará cuando ya se está en rangos peligrosos y es conveniente detener la maquinaria para su reparación. Es necesario darle al sistema un tiempo de reacción, puesto que puede haber valores transitorios ocasionalmente altos que no son perjudiciales.

#### 4.2.6 DCX XRT

El DCX XRT es una nueva generación de colector/analizador de datos de vibraciones, de diseño rugoso y muy resistente, con cuatro canales simultáneos de adquisición y acelerómetro tri-axial, capaz de realizar balanceo dinámico de 4 planos, así como funciones de análisis avanzado.

Realiza la colección de datos con tan sólo seleccionar el equipo/prueba desde un árbol jerárquico o presionando un botón en una imagen o dibujo de la maquinaria. El análisis de tiempo real es también impresionante: seleccione información tri-axial y se actualizan simultáneamente los tres ejes. Midiendo tan sólo 28 x 20 x 4 cm y pesando sólo 2Kg, el DCX XRT es una máquina muy poderosa: Incluye un procesador Intel Pentium® III a 800 MHz y un procesador de señal digital de Texas



Instruments (DSP) a 40 MHz. Además cuenta con 256 Mb en RAM, con la tableta con sistema operativo Windows® XP que funciona en una pantalla a color con pluma digital.

Al compartir información, aproveche su fácil conexión a red a través del puerto USB Ethernet y la tecnología de réplica de información a través de Internet, que además de sincronizar bases de datos remotas, le permite realizar monitoreo y control a distancia. Además este instrumento puede ser conectado a un computador con su respectivo software para poder imprimir los espectros obtenidos en las mediciones.



## Conclusión

Las Normas ISO 4867, 4868 y 2372 son de gran importancia para recabar información acerca de datos vibracionales, con la finalidad de clasificarlos o compararlos con datos anexos, obtenidos por el mismo astillero o por otras entidades, y así poder de ésta forma corregir deficiencias que se encuentran con la realización de mediciones ó aminorarlas.

Se entrega un protocolo de prueba de vibraciones en base a las normas que pueden tomarse en cuenta por los armadores e inspectores de tal manera de uniformar criterios.


El protocolo de pruebas sirve además para realizar futuras mediciones, porque queda establecido lo puntos donde se realizaron las anteriores mediciones, con respecto a los motores, descanso del eje, eje propulsor, motor auxiliar, etc, como en la superestructura.

Los instrumentos de medición deben satisfacer el requerimiento del cliente en este caso es del armador, luego estos deben estar certificados y acreditados por laboratorios, respecto a esto los instrumentos deben tener su calibración y garantía de que los resultados que se indican son los correctos

Además la toma de vibraciones debe hacerlo un profesional competente en el área, el cual debe tener conocimientos del buque, de normas y de vibraciones

Las normas preescritas son en todo caso recomendaciones para la toma de mediciones vibracionales, pero pueden ser exigidas por el armador.

# Anexo I

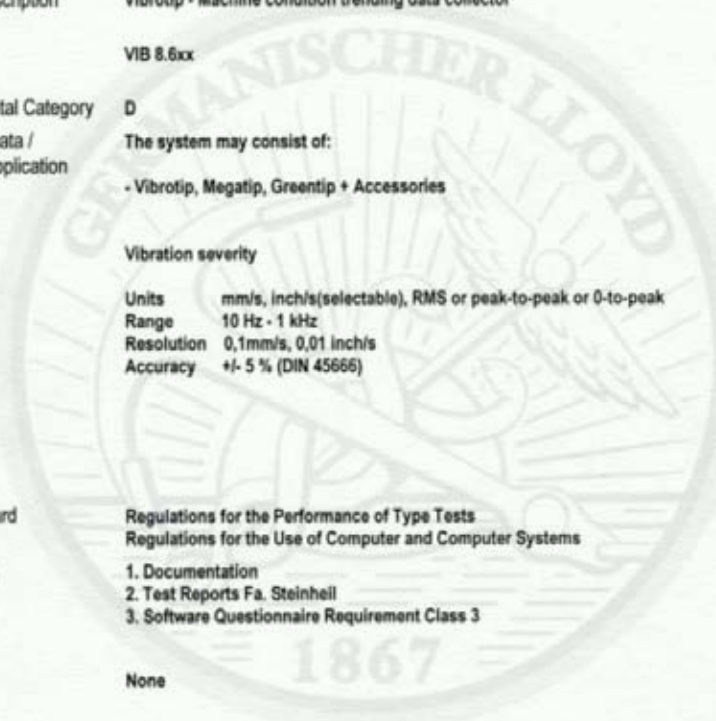


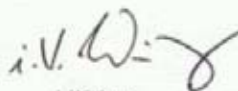
**Germanischer Lloyd**


## Type Approval Certificate

This is to certify that the undernoted product(s) has/have been tested in accordance with the relevant requirements of the GL Type Approval System.



Certificate No.	45 759 - 02 HH
Company	PRÜFTECHNIK Condition Monitoring GmbH Oskar-Messter-Strasse 19-21 D-85737 Ismaning
Product Description	Vibrotip - Machine condition trending data collector
Type	VIB 8.6xx
Environmental Category	D
Technical Data / Range of Application	The system may consist of: - Vibrotip, Megatip, Greentip + Accessories
	Vibration severity
	Units      mm/s, inch/s(selectable), RMS or peak-to-peak or 0-to-peak
	Range      10 Hz - 1 kHz
	Resolution 0,1mm/s, 0,01 inch/s
	Accuracy   +/- 5 % (DIN 45666)
Test Standard	Regulations for the Performance of Type Tests Regulations for the Use of Computer and Computer Systems
Documents	1. Documentation 2. Test Reports Fa. Steinhell 3. Software Questionnaire Requirement Class 3
Remarks	None
Valid until	2008-02-14
Page	1 of 1
File No.	LD.06
Hamburg,	2003-02-14



  
 J. Wittburg

  
 F. Henkel

Type Approval Symbol

This certificate is issued on the basis of "Regulations for the Performance of Type Tests, Part 0, Procedure".

## VIBROTIP – eficacia para entornos marinos

Condition Monitoring ◀

PARA PUBLICACIÓN: VIBROTIP - Machine analyzer & data collection  
 Direct enquiries to: Fax: +49 (0)89/99616-300, Mr. Schmaus  
 eMail: info@pruftechnik.com

1 El ' Germanische Lloyd ' (GL) ha concedido al co-  
 2 lector de datos VIBROTIP el 'certificado de la  
 3 aprobación'. Esto comprueba la 'eficacia marina'  
 4 de VIBROTIP, el cuál se puede utilizar por ejemplo  
 5 para supervisar las máquinas en buques mercantes.  
 6 VIBROTIP mide, evalúa y exhibe la condición del  
 7 rodamiento, la severidad de vibración, la tempera-  
 8 tura líquida y superficial, la cavitación y las  
 9 RPM de la máquina - toda en un instrumento prácti-  
 10 co con sensores incorporados y a prueba de agua y  
 11 polvo (IP65). El VIBROTIP almacena todos estos  
 12 datos con solo pulsar un botón y los transfiere a  
 13 un PC para almacenamiento a largo plazo, análisis  
 14 de tendencia e impresión. La plataforma software  
 15 OMNITREND proporciona un rápido y confiable análi-  
 16 sis de los puntos críticos de las máquinas. OMNI-  
 17 TREND también programa las rutas de medición para  
 18 el VIBROTIP lo cual asegura una facilidad sin pre-  
 19 cedente para optimizar la recolección de datos en  
 20 intervalos regulares. En combinación con el siste-  
 21 ma VIBCODE de reconocimiento automático de locali-  
 22 zaciones y de tareas de medición, la recolección  
 23 de datos es un juego de niños - no más confusiones  
 24 a la hora de medir.

NOTA DE PRENSA

## Bibliografía

1. ISO 2372:1974 Mechanical vibration of machina with operating speed from 10 to 200 rev/s- Basis for specifying evaluation standards.
2. ISO 4867:1984 Code for the measurement and reporting of shipboard vibration data.
3. ISO 4868:1984 Code for the measurement and reporting of local vibration data of ship structures and equipment.
4. III seminario internacional de buques pesqueros, organizado por inst. de cs. Navales y marítimas 1992
5. <http://www.dliengineering.com/vibmanspanish/introduccinalfenmenovibracin.htm>
6. <http://www.aaende.org.ar/sitio/biblioteca/material/CORENDE2000Raul.pdf>
7. <http://www.vibrotechnology.org.pe/vibro/4.htm>