

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUEL CARRERA

MODIFICACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO MOTOR MAN
MODELO 6L 23/30H

Trabajo de Titulación para optar al Título
Profesional de Ingeniero en Ejecución en
MANTENIMIENTO INDUSTRIAL.

Alumno:

Sr. Matías Ignacio Vásquez Villalobos

Profesor Guía:

Sr. Luis Gutiérrez

RESUMEN

Keywords: MOTOR MAN 6L 23/30H – PUNTA ANGAMOS – GENERADOR.

Los tres generadores del buque Punta Angamos que están equipados con motores MAN 6L 23/30H son sometidos a mantenimientos planificado y posteriormente a mantenimientos correctivos, en el cual solo en una reparación se tuvo que generar un gasto un poco mayor a 2.300 UF, gasto donde se debió cambiar biela, bujes, cojinetes, anillos y muchas otras piezas, siendo el cigüeñal una de estas piezas y la más cara de todo el conjunto; al mismo tiempo afectando su disponibilidad. Para reducir los mantenimientos correctivos, se propone implementar un mantenimiento predictivo, el cual servirá para los tres motores. Para ello, será utilizado el análisis de vibraciones, el cual posee la capacidad de detectar fallas por cambios en su forma natural de vibrar, permitiendo a los operarios detectar anomalías en su funcionamiento, cambiando los niveles de operaciones para poder mantener por mayor tiempo la funcionabilidad del sistema sin abusar de este antes de generar la reparación necesaria, para poder así generar un mantenimiento programado. Esto se propone hacer con un colector de vibraciones, el Colector de datos FALCON SMART 2, el cual tiene la capacidad de reducir las vibraciones parasitas logrando generar un mejor diagnóstico de falla. Complementario a este análisis, se propone la utilización de una cámara termográfica, permitiendo ver niveles de temperatura interna, con lo cual, si se lleva una línea de tiempo de los análisis efectuados en los sistemas, se verificarán los cambios internos en sus temperaturas, localizando fallas internas y externas que estén presentes sin la necesidad de desarmar, para ellos se plantea utilizar un colector de datos Cámara Termográfica AT8, el cual permite guardar las imágenes obtenidas en un ordenador para poder dejar el registro a lo largo del tiempo. Estas implementaciones poseen un costo no mayor a 1350 UF, en el cual están incluidos los cursos asociados a los respectivos análisis junto con todos los gastos necesarios, siendo una implementación muy importante a lo largo del tiempo en el cual, si llegasen a presentar una falla similar a la ya ocurrida anteriormente, junto con poder ser detectada con anticipación, pudiendo planificar la reparación de esta, podrían ahorrarse más de 1800 UF, tanto en repuestos como en mano de obra, siendo una clara señal de que esta inversión fue un verdadero acierto, ya que con esta implementación, el encontrar una anomalía o falla presente en el sistema sería mucho más rápido y eficiente, pudiendo obtener un mejor provecho en el funcionamiento de estos sistemas, aumentando el MTBF de estos.

ÍNDICE

RESUMEN	
SIGLAS Y/O SIMBOLOGÍAS	
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	2
GENERAL	2
ESPECÍFICOS	2
CAPÍTULO 1: RECONOCIMIENTO DE LA IMPORTANCIA DEL MOTOR MAN 6L 23/30H EN LA INDUSTRIA MARÍTIMA	3
1. MOTOR MAN 23/30H	5
1.1. ESPECIFICACIONES MOTOR MAN 23/30	5
1.2. APLICACIÓN MOTOR MAN 23/30H	9
1.3. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO MOTOR MAN 23/30H	11
1.4. FALLAS MOTOR MAN 23/30H	13
1.4.1. Ovaladura de biela	14
CAPÍTULO 2: CUANTIFICANDO EL IMPACTO DE LA FALLA ASOCIADA A LA BIELA DE ACUERDO A COSTOS	15
2. CAUSA DE LAS FALLAS ASOCIADAS	17
2.1. OVALADURA DE BIELA	17
2.1.1. Inspección de ovalización en cabeza de biela	17
2.1.2. Montaje de la biela	18
2.1.3. Procedimiento de biela dado por fabricante	19
2.1.4. Daño en cojinetes	22
2.2. COSTOS DE FALLA	26
2.2.1. Costos de repuestos	26
2.2.2. Costos mano de obra	26
2.2.3. Costos de transporte y movilización	27
2.2.4. Costos totales de mantenimiento correctivo	27

2.3.	CONDICIONES INCORRECTAS DE OPERACIÓN.....	28
2.3.1.	Aceleraciones bruscas.....	28
2.3.2.	Anomalía en el proceso de combustión.....	29
2.3.3.	Bloqueo hidráulico	29
2.3.4.	Lubricación ineficiente en arranque	29
2.4.	PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO.....	30
2.4.1.	Plan de mantenimiento dado por fabricante	30
2.4.2.	Plan de mantenimiento programado versus falla asociada.	34
CAPÍTULO 3: ESTABLECIENDO LOS MODOS DEL NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR MAN 23/30H		35
3.	NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO.....	37
3.1.	FALLA PRESENTADA GENERADOR EN BUQUE PUNTA ANGAMOS.....	37
3.2.	ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y TEMPERATURA.....	38
3.2.1.	Análisis de vibraciones.....	38
3.2.2.	Análisis termográfico	42
3.3.	PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO	46
3.3.1.	Análisis de vibraciones.....	46
3.3.2.	Análisis termográficos	48
3.4.	COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO.....	49
3.4.1.	Costos implementación análisis de vibraciones	50
3.4.2.	Costos implementación análisis termográfico	52
3.4.3.	Costo total del proyecto.....	53
3.5.	FLUJO DE CAJA.	55
3.5.1.	V.A.N	56
3.5.2.	B.A.U.E.	56
CONCLUSIONES		58
BLOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN		60

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 Motor MAN 6L 23/30	5
Figura 1-2 Motor MAN 23/30H en corte.....	9
Figura 1-3 Medición ovaladura biela	14
Figura 2-1 Inspección ovaladura de biela.	17
Figura 2-2 Montaje correcto de biela.	18
Figura 2-3 Maniobra de montaje por medio de guías (manual del fabricante).....	19
Figura 2-4 Instalación de cojinetes antifricción	20
Figura 2-5 Contacto entre el muñón y la biela.....	21
Figura 2-6 Marcas de guía para torque angular	21
Figura 2-7 Partículas extrañas en la superficie del cojinete	22
Figura 2-8 Partículas extrañas en el reverso del cojinete	23
Figura 2-9 Partículas extrañas en la superficie del cojinete	23
Figura 2-10 Insuficiente apriete de los cojinetes.....	24
Figura 2-11 Área de desgaste excesivo	24
Figura 2-12 Degaste central en los cojines	25
Figura 2-13 Degaste desigual producto de cigüeñal deformado	25
Figura 3-1 Biela motor 6L23/30H Buque Punta Angamos.....	38
Figura 3-2 Ubicación de puntos de medición	39
Figura 3-3 Colector de datos FALCON SMART 2	40
Figura 3-4 Procesamiento medición termográfica	43
Figura 3-5 Alineamiento de un engranaje. Foto con luz visible	44
Figura 3-6 Alineamiento de un engranaje. Imagen termográfica	44
Figura 3-7 Análisis predictivo termografía turbocompresor.....	49
Figura 3-8 Análisis predictivo termografía inyector.....	49

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1-1 Medidas motor 23/30H.	7
Diagrama 1-2 Espacio mínimo requerido para la instalación de un motor MAN 23/30H	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1 Límite de emisiones de NOx	6
Tabla 1-2 Medidas motor MAN 23/30H.....	7
Tabla 1-3 Espacio mínimo requerido para instalación.....	8
Tabla 1-4 Potencia entregada por motor MAN 23/30H.....	10
Tabla 1-5 Condiciones de operación requeridas por fabricante 1.....	12
Tabla 1-6 Condiciones de operación requeridas por fabricante 2.....	13
Tabla 2-1 Mediciones ovaladura de bielas motor 6L 23/30H.....	18
Tabla 2-2 Costos de repuestos.....	26
Tabla 2-3 Costo mano de obra.	27
Tabla 2-4 Costos de transporte.....	27
Tabla 2-5 Costo total mantenimiento correctivo.....	28
Tabla 2-6 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H	30
Tabla 2-7 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)	31
Tabla 2-8 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)	32
Tabla 2-9 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)	33
Tabla 2-10 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)	34
Tabla 3-1 Límites de vibración para grupos electrógenos norma ISO 8528-9	41
Tabla 3-2 Costo adquisición colector de vibraciones.	50
Tabla 3-3 Curso de análisis de vibraciones.....	51
Tabla 3-4 Costo transporte para participar en curso	52
Tabla 3-5 Costo implementación análisis de vibraciones	52
Tabla 3-6 Costo adquisición cámara termográfica.....	53
Tabla 3-7 Costo implementación mantenimiento predictivo.....	53
Tabla 3-8 valor de repuestos	54
Tabla 3-9 Costo de cigüeñal.....	54
Tabla 3-10 flujo de caja.....	55
Tabla 3-11 V.A.N.....	56
Tabla 3-12 B.A.U.E.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3-1 Gráfico de tendencia.....45

Gráfico 3-2 Ejemplo del comportamiento espectral en cada magnitud de vibración.47

SIGLAS Y/O SIMBOLOGÍAS

SIGLAS

HFO	:	Fuelóleo pesado.
MTTF	:	Tiempo medio de fallo, sin posibilidad de reparación
MTBF	:	Tiempo medio entre fallos, con posibilidad de reparación

SIMBOLOGÍAS

%	:	Porcentaje
<	:	Menor que.
>	:	Mayor que.
UF	:	Unidad de fomento
Rpm	:	Revoluciones por minuto
kW	:	Kilo Watt
mm	:	Milímetro
cm ²	:	Centímetros cuadrados.
Lts	:	Litros
°C	:	grados Celsius.
CSt	:	Centistokes.
m/seg	:	metros partidos en segundos
m ³ /h	:	metros cúbicos por hora
Nm	:	Newton metros
kHz	:	Kilo Hertz
GB	:	Giga bits

INTRODUCCIÓN

La implementación del mantenimiento predictivo se ha hecho una necesidad con el pasar de los años, ya sea porque los operarios se han percatado que las paradas de emergencia generan pérdidas importantes para la empresa, los mantenimientos programados no son suficiente ya que los sistemas están sometidos a tratos pocos amigables por parte del ambiente y de los operarios, como también por el hecho de que hay sistemas que no pueden dejar de funcionar, si no es cuando se generan paradas programadas para hacerle mantenimiento para que pueda seguir cumpliendo su funcionamiento con la mayor confiabilidad. Siendo la confiabilidad de los sistemas uno de las propiedades que buscan todos los operarios en sus sistemas, ya sea por su criticidad, el alto valor del mantenimiento y reparaciones, como por las grandes pérdidas producto al cese del proceso.

En los grupos electrógenos también es importante la implementación del mantenimiento predictivo y más cuando se está lejos de un muelle como es el caso de los buques, los cuales tener una confiabilidad de estos generadores eléctricos es de suma importancia, ya que estos son los que alimentan de manera constante el sistema eléctrico, los mantenedores de temperatura ya sea para los operarios, alimentos y más importante aún la carga que se transporta. Se generará una propuesta de mantenimiento predictivo, siendo un complemento al mantenimiento programado, sin la necesidad de intervenir los generadores eléctricos siendo una opción viable para poder ser utilizada en la mayor cantidad de sistemas posibles sin la necesidad de generar más gastos dentro de la empresa.

Para poder generar estas propuestas será necesario conocer el motor al cual se le desea aplicar este tipo de mantenimiento, características, importancia dentro de la industria y funcionamiento habitual al que está sometido. Ya conociendo el motor será necesario conocer los distintos análisis a utilizar, funcionamientos, factibilidad y el nivel necesario del operario para poder obtener buenos resultados de estos análisis para poder obtener los mejores resultados al momento de generar los análisis de falla.

Se buscará la factibilidad de la propuesta comparándola con gastos previamente efectuados en los procesos de mantenimiento correctivo, para dar a conocer que es un elemento importante dentro de los procesos de mantenimiento presentes dentro de la industria, pudiendo generar grandes ahorros dentro de la empresa, aumentando la confiabilidad de estos sistemas, como también poder obtener personal capacitado dentro del área de análisis de falla como manejo de los sistemas.

OBJETIVOS

GENERAL

Modificar plan de mantenimiento preventivo dado por fabricante para el motor MAN 6L 23/30H, por medio de las condiciones operacionales, reduciendo los costos.

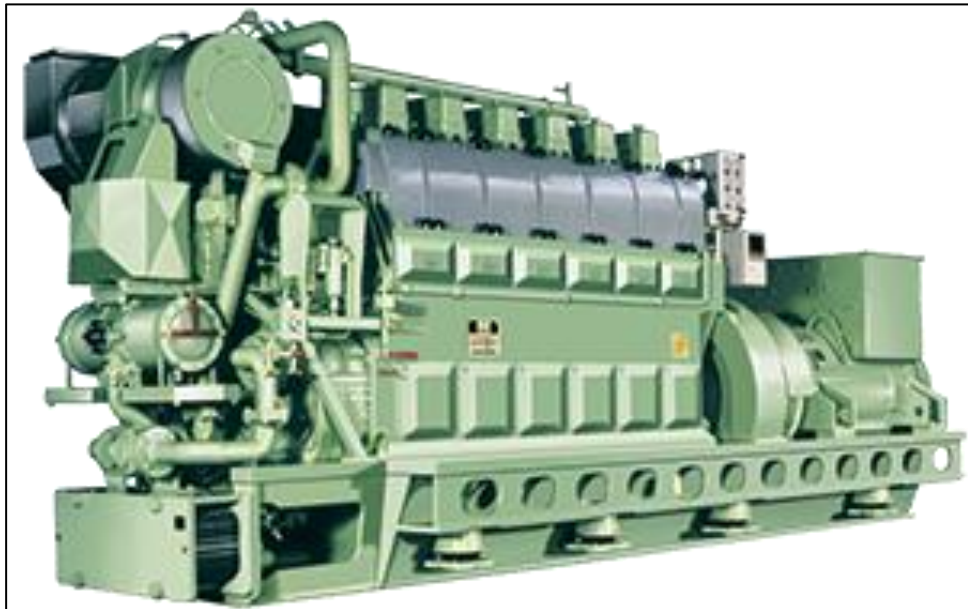
ESPECÍFICOS

- Caracterizar el motor MAN 6L 23/30H, de acuerdo a su aplicación y condiciones de funcionamiento, indicando y estableciendo fallas asociada
- Cuantificar el impacto de la falla asociada a la biela de acuerdo a costos, modificando el plan el mantenimiento.
- Establecer la modalidad al plan de mantenimiento del motor MAN 23/30H a través de acciones evaluando los costos de implementación de las acciones asociadas.

**CAPÍTULO 1: RECONOCIMIENTO DE LA IMPORTANCIA DEL
MOTOR MAN 6L 23/30H EN LA INDUSTRIA MARÍTIMA**

1. MOTOR MAN 23/30H

En el año 1965 la empresa MAN Diésel & Turbo crea el motor a combustión interna MAN 23/30H GenSet, el cual después de 50 años de desarrollo, con el pasar del tiempo este motor no se ha mantiene igual al inicio, teniendo un cambio de diseño, disminución en el consumo de combustible, disminuyendo las emisiones, utilizando distintos materiales en la composición de sus piezas, pero manteniendo intacto el sistema de ventilación del cárter.



Fuente: <https://marine.man-es.com/gensets/marine-gensets/123-30h>

Figura 1-1 Motor MAN 6L 23/30

1.1. ESPECIFICACIONES MOTOR MAN 23/30

Con el paso del tiempo, el motor MAN 23/30H ha alcanzado intervalos de mantenimientos importantes de 16,000 horas, generándose chequeos y mantenimientos menores diarios, logrando ser un motor de bajos requerimientos de mantenimiento.

Con la evolución del motor MAN, además del aumento del MTTF, los diseñadores han bajado el consumo de combustible (SFCO) y aceite además de cumplir con todos los requisitos de emisiones existentes, incluidos los requisitos del Nivel II de la OMI, como también se ha logrado la reducción del peso del motor.

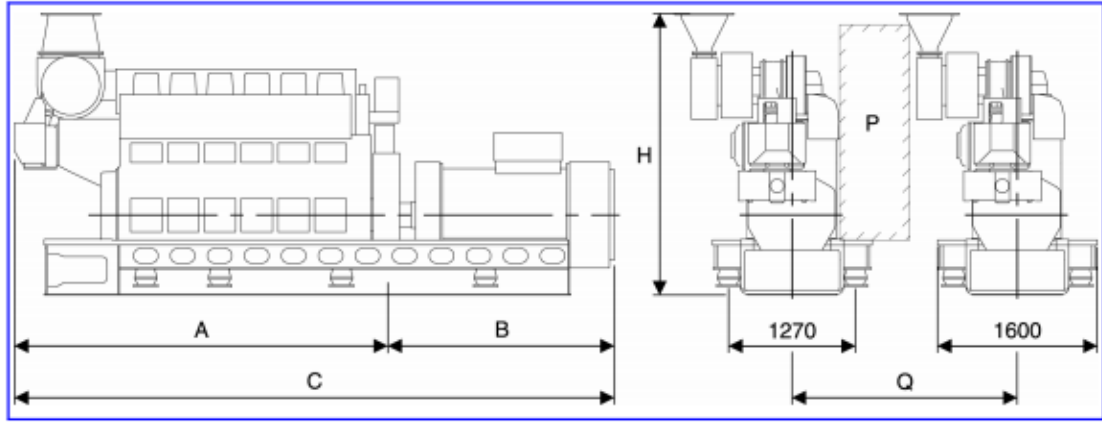
Tabla 1-1 Límite de emisiones de NOx

NIVEL	FECHA DE CONSTRUCCION DEL BUQUE	VALOR LIMITE DE EMISION PONDERADA TOTAL DEL CICLO (G/kWh) N= régimen nominal del motor (Rpm)		
		n<130	n= 130-1999	n≥2000
I	1 de enero 2000	17,0	$45 \cdot n^{(-0,2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 12.1	98
II	1 de enero 2011	14,4	$44 \cdot n^{(-0,23)}$ por ejemplo, 720 rpm – 9.7	7,7
III	1 de enero 2016*	3,4	$9 \cdot n^{(-0,2)}$ por ejemplo, 720 rpm – 2.4	2,0

Fuente: Organización Marítima Internacional.

“Los controles de nivel III sólo se aplican a buques específicos mientras navegan en las zonas de control de las emisiones (ECA) establecidas para limitar las emisiones de NOx; fuera de dichas zonas se aplican controles de nivel II. En conformidad con lo prescrito en la regla 13.5.2, no sería necesario que en determinados buques pequeños se instalen motores de nivel III. Sin embargo, todo motor diésel marino que se instale en un buque construido a partir del 1 de enero de 2016 y que navegue en la ECA de Norteamérica y del mar Caribe de los Estados Unidos deberá cumplir lo dispuesto en las normas de nivel III sobre las emisiones de NOx.” (Organización Marítima Internacional)

Actualmente el motor MAN L23/30H es compacto, con una baja altura lo que permite una facilidad de desmontaje, mejorando el aprovechamiento del espacio en la industria marina.



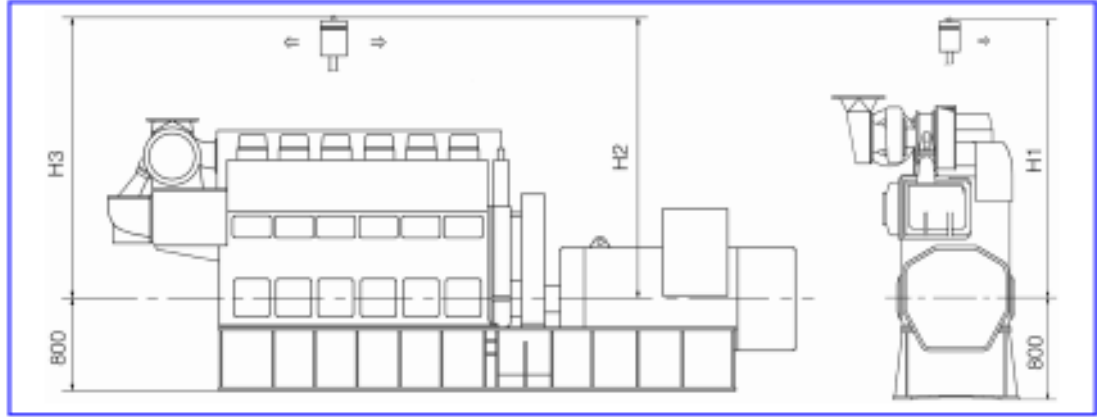
Fuente: Manual MAN 23/30H

Diagrama 1-1 Medidas motor 23/30H.

Tabla 1-2 Medidas motor MAN 23/30H

N° de cilindros	A	*B	*C	H
5 (720 RPM)	3369	2155	5524	2383
5 (750 RPM)	3369	2155	5524	2383
6 (720 RPM)	3738	2265	6004	2383
6 (750 RPM)	3738	2265	6004	2383
6 (900 RPM)	3738	2265	6004	2815
7 (720)	4109	2395	6504	2815
7 (750)	4109	2395	6504	2815
7 (900)	4109	2395	6504	2815
8 (720)	4475	2480	6959	2815
8 (750)	4475	2480	6959	2815
8 (900)	4475	2340	6815	2815
P: paso libre entre los motores, ancho 600 mm y altura 2000 mm				
Q: distancia mínima entre motores.				
*: depende del alternador				
**: peso incluido alternador estándar				
Las dimensiones y las masas son aproximadas y están sujetas a cambios sin previo aviso.				

Fuente: Manual motor MAN 23/30H



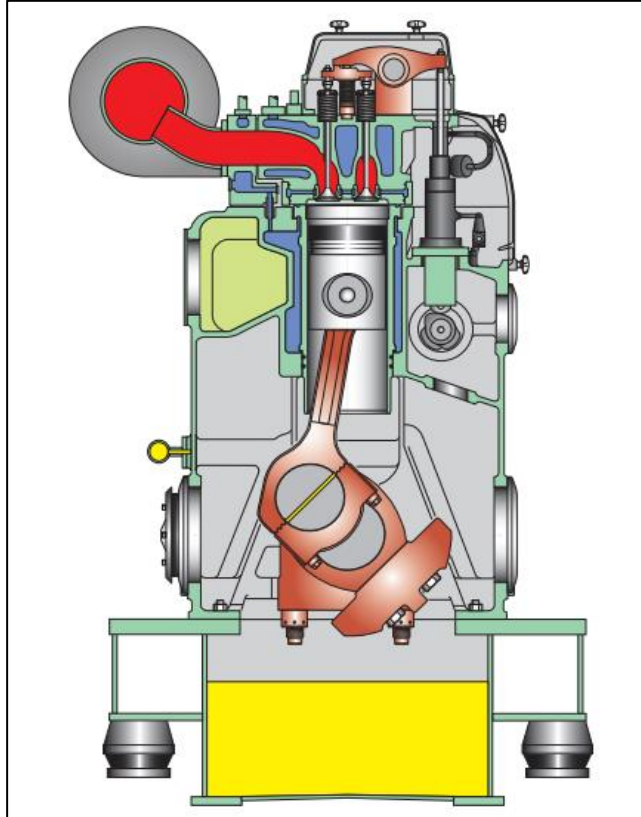
Fuente: Manual MAN 23/30H

Diagrama 1-2 Espacio mínimo requerido para la instalación de un motor MAN 23/30H

Tabla 1-3 Espacio mínimo requerido para instalación.

TIPO DE MOTOR	CUADRO (H1)	CABEZA DE CILINDRO (H2)	TURBOCARGADO R (H3)
5-6L23/30H (720/750 rpm)	1919	2398	2453
7-8L23/30H (720/750 rpm)	1919	2398	2553
6-7L23/30H (900 rpm)	1919	2398	2553
H1: para desmontar el pistón y la biela en el lado del árbol de levas			
H2: para desmontar el pistón y la biela que pasa por el alternador. (cubierta restante no quitada)			
H3: para desmontar el pistón y la biela que pasa por el turbocompresor.			
Si se requiere una altura de desmontaje baja, se pueden entregar herramientas especiales.			

Fuente: manual motor MAN 23/30H



Fuente: Manual motor MAN 23/30H

Figura 1-2 Motor MAN 23/30H en corte.

Gracias a un turbocompresor diseñado para una alta eficiencia, el cual posee turbinas y un compresor de flujo radial y un controlador lambda incorporado permite aumentar la capacidad de respuesta de la carga aplicada y limitando el consumo de aceite durante el proceso de arranque y los cambios de carga. Además, gracias a su regulador mecánico permite pasos de carga de hasta un 50% en un solo paso.

1.2. APLICACIÓN MOTOR MAN 23/30H

El motor MAN 23/30H se puede presentar en distintos formatos en la industria, pudiendo identificarlos de la siguiente forma:

- 6= Numero de cilindros (5, 6, 7, 8, 9, 12, 16, 18)
- L= Tipo de motor (en línea, en "V")
- 23/30= diámetro del cilindro/ carrera cilindro
- H= Variable designada

Para poder abarcar un área más grande en la industria marina y poder tener menos limitaciones al momento de utilizar un motor MAN 23/30H en distintas embarcaciones, MAN Diésel & Turbo opto por fabricar motores 23/30H con distintas prestaciones.

- Ciclo: 4 tiempos.
- Configuración: En línea
- N° de cilindros a escoger: 5-6-7-8
- Rango de Poder: 650-1280 KW (885-1740 BHP)
- Revoluciones: 720/750/900 Rpm
- Diámetro cilindro: 225 [mm]
- Carrera cilindro: 300 [mm]
- Área del cilindro: 398 cm²
- Volumen por cilindro: 11.9 Lts.
- Relación de compresión: 13:1
- Máxima presión de combustión: 130 bar
- Turbo carga: sistema de carga constante con intercooler
- Combustible aceptado: HFO sobre 700 cSt/50°C

Con el aumento y disminución de cilindros en el motor MAN 23/30H, se presentan distintas potencias (KW) de prestación, como también distintas velocidades de funcionamiento.

Tabla 1-4 Potencia entregada por motor MAN 23/30H

PODER DE REFERENCIA		VERSION MCR		
VELOCIDAD	rpm	720	750	900
VELOCIDAD MEDIA POR PISTON	m/seg	7,2	7,5	9
PRESION MEDIA EFECTIVA	bar	18,2	18,1	17,9
PRESION DE COMBUSTIBLE MAXIMO	bar	130	130	130*
PODER POR CILINDRO	kW/cil.	130	135	160
	BHP/cil.	175	185	217
RANGO DE SOBRECARGA (MÁS 10%) ADMISIBLE DE 1 HORA POR CADA 12 HORAS.				
PODER POR CILINDRO	kW/cil.	145	150	175
	BHP/cil.	190	205	239
* Para versiones L23/30H-900 rpm la presión de 135 bar mostrada por el indicador corresponde a 130 bar en la cámara de combustión				

Fuente: Manual motor 23/30H

El 23/30H es utilizado como generador eléctrico debido a su gran debido a ser un motor de velocidad media, no siendo suficiente para utilizarse como motores de propulsión debido a que para ello es necesario la utilización de un motor de altas velocidades.

Debido a su bajo mantenimiento, un elevado MTTF y ser un motor con gran trayectoria en la industria, el 23/30H es elegido tanto por buques comerciales de transporte de productos (fruteros, portacontenedores, etc.), barcos pesqueros, algunos barcos de la Armada de Chile, como también por piscifactorías.

1.3. CONDICIONES DE FUNCIONAMIENTO MOTOR MAN 23/30H

El motor 23/30H desde sus inicios en la industria marítima, fue diseñado para funcionar de manera óptima con HFO (combustible pesado de azufre), de esta forma el costo del combustible para hacer funcionar los motores eléctricos es el menor posible.

El HFO puede generar la misma potencia de trabajo que el Diésel, debido a su poder calorífico similar (diésel: 42,7 [KJ/g] – HFO: 40 [KJ/g]). Para la utilización del este combustible, se debe tener un calentador el cual mantenga una temperatura mínima de 60°C aproximadamente, esto es debido a que el HFO solo puede ser bombeado cuando presenta una viscosidad máxima de 350 [cSt], pudiendo obtener como mínimo una viscosidad de 25 [cSt] a 100°C aproximadamente, los valores de viscosidad son aproximados debido a que depende de la composición del HFO, el cual está formado principalmente de residuos provenientes del crudo. Debido a esto, la viscosidad depende totalmente del % de petróleo en el mezcal, el cual es el material básico, como también la cantidad de diluyentes. El diluyente generalmente posee una viscosidad baja y un punto de ebullición bajo, por lo que si la proporción de la mezcla no es escogida correctamente el HFO puede descomponerse en el calentador a pesar que la viscosidad sea la correcta para el funcionamiento del motor, ya que los componentes altamente volátiles entraran en ebullición.

Cuando es necesario detener un motor MAN 23/30H, se debe cambiar el sistema de bombeo de combustible, para pasar de HFO a Diésel, esto se debe hacer con una hora de anticipación mínimo, debido a que, si se llegase a detener el motor con HFO en su sistema de inyección o de combustible y este baja la temperatura, el HFO se solidificara

generando una falla en todo este sistema, no pudiendo volver a arrancar el motor. Se debe tener en cuenta que se debe hacer el cambio con anticipación para que todo el HFO sea eliminado del sistema y quede solo Diésel en su interior.

Para el óptimo funcionamiento del motor MAN 23/30H se debe tener en consideración las siguientes condiciones para los distintos sistemas de este:

Tabla 1-5 Condiciones de operación requeridas por fabricante 1

5-8L23/30h: 130 kW/cil. 720 rpm o 135 kW/cil. 750 rpm					
Referencia de condiciones: Tropical	°C	45			
Temperatura del aire	°C	36			
LT Temperatura del agua interna del motor (en sistemas)	bar	1			
Presión de aire	%	50			
Humedad relativa					
Temperatura base.					
HT de punto fijo en funcionamiento	°C	82°C			
marcación de lubricación interna del motor	°C	60°C (SAE30), 66°C (SAE40)			
Numero de cilindros.		5	6	7	8
energía entregada	kW	650/675	780/810	910/945	1040/1080
velocidad	rpm	720/750	720/750	720/750	720/750
Temperatura disipada					
Enfriamiento por agua por cilindro	kW	182	219	257	294
carga de aire enfriadora; enfriador de agua HT	kW	-	-	-	-
carga de aire enfriadora; enfriador de agua LT	kW	251	299	348	395
Enfriamiento del aceite	kW	69	84	98	112
radiación de calor del motor	kW	27	33	38	44
Datos del aire					
Temperatura del aire del cargador a salida del enfriador de aire carga	°C	55	55	55	55
Rango del flujo de aire	m ³ /h kg/kwh	4556 7,39	5467 7,39	6378 7,39	7289 7,39
presión del aire presurizado	bar	3,08	3,08	3,08	3,08
aire requerido para disipar la temperatura de radiación del motor	m ³ /h	8749	10693	10693	14257
Datos salida de escape					
Volumen del fluido	m ³ /h	9047	10856	12666	14475
Masa del fluido	t/h	5,1	6,1	7,2	8,2
Temperatura del fluido a la salida del turbocompresor	°C	342	342	342	342
Calor contenido (190°C)	kW	234	280	327	374
Contrapresión admisible de escape	bar	<30	<30	<30	<30

Fuente: Manual MAN 23/30H

Tabla 1-6 Condiciones de operación requeridas por fabricante 2.

5-8L23/30h: 130 kW/cil. 720 rpm o 135 kW/cil. 750 rpm					
Bombas					
Energía entregada por bombas					
Presión de bomba de aceite (5,5-7,5 bar)	m3/h	1,0	1,0	1,0	1,0
Bombas de agua de alta temperatura (1-2,5 bar)	m3/h	36	36	36	36
Bombas de agua de baja temperatura 1-2,5 bar)	m3/h	55	55	55	55
Bomba lubricadora (3-5 bar)	m3/h	16	16	20	20
Bombas externas.					
Bomba de combustible (4 bar en la entrada de combustible)	m3/h	0,48	0,57	0,67	0,76
Bomba de combustible (4 bar presión de descarga)	m3/h	0,23	0,28	0,32	0,37
Circuito de combustible (8 bar en la entrada)	m3/h	0,48	0,57	0,67	0,76
Bombas de agua interna en sistema 1					
Bombas de agua de alta temperatura (1-2,5 bar)	m3/h	35	42	48	55
Bombas de agua interna en sistema 2					
Bombas de agua de alta temperatura 1-2,5 bar)	m3/h	20	24	28	32
Bombas de agua de baja temperatura 1-2,5 bar)	m3/h	35	42	48	55
Bomba lubricadora (3-5 bar)	m3/h	14	15	16	17
6-8L23/30H: 160 kW/cil., 900 rpm					
Entrada de aire al sistema					
Aire necesario para el inicio	Nm3	2,0	2,0	2,0	
Boquilla de enfriamiento					
Boquilla de enfriamiento	m3/h	0,66	0,66	0,66	

Fuente: Manual MAN 23/30H

Respetando las condiciones de operación que requiere el motor MAN 23/30H, este no debería presentar problemas, ni falla alguna dentro de las 16,000 horas de funcionamiento previas al mantenimiento programado.

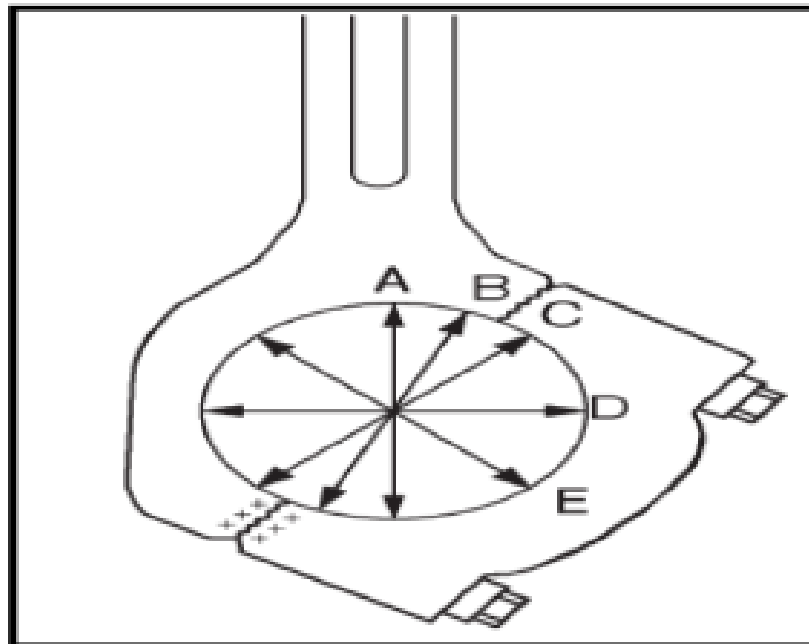
1.4. FALLAS MOTOR MAN 23/30H

A pesar de las modificaciones que ha generado en el motor MAN 23/30H, se siguen presentando fallas, los cuales provocan una interrupción en su funcionamiento o disminución del proceso.

1.4.1. Ovaladura de biela

La Ovaladura es una deformación de la cabeza de la biela, debido al desgaste irregular de la superficie superior e inferior opuestas en el área de rozamiento. La Ovaladura puede presentarse en el interior de los pies y/o cabeza de la biela. Esta falla se presenta normalmente después de periodos largos de funcionamiento.

Para poder identificar una ovaladura en la biela, la zona afectada debe ser medida con un alesometro en cinco puntos, los cuales están indicados por el manual del fabricante.



Fuente: Manual MAN 23/30H

Figura 1-3 Medición ovaladura biela

CAPÍTULO 2: CUANTIFICANDO EL IMPACTO DE LA FALLA
ASOCIADA A LA BIELA DE ACUERDO A COSTOS

2. CAUSA DE LAS FALLAS ASOCIADAS

Dentro de cada falla, existen causas asociadas a esta, las cuales se intentarán dar a conocer a continuación.

2.1. OVALADURA DE BIELA

2.1.1. Inspección de ovalización en cabeza de biela

En la siguiente tabla (ver tabla 2-1) se presentan los puntos de medición dispuesto por el fabricante para medir la ovaladura de las bielas, en este caso tres de las 6 bielas están en buen estado ya que está dentro los valores aceptables para el fabricante (color verde), por otro lado, tres de estas presentan mal estado ya que están sobre los 0.08mm.



Fuente: Análisis de falla.

Figura 2-1 Inspección ovaladura de biela.

Tabla 2-1 Mediciones ovaladura de bielas motor 6L 23/30H

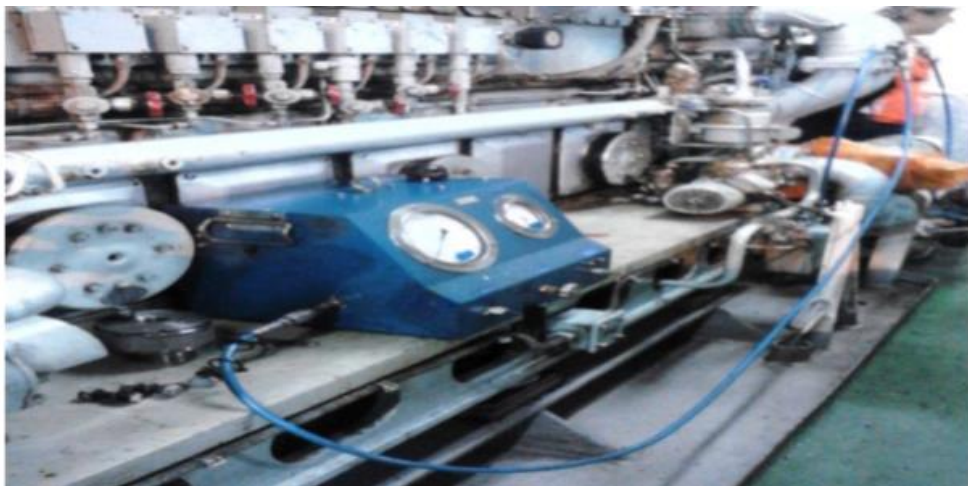
BIELA	1	2	3	4	5	6
Punto A	0	0	0	0	0	0
Punto B	0	-1	-8	-4	-1	-4
Punto C	1	-2	-5	-5	1	-3
Punto D	3	4	7	3	5	3
Punto E	5	11	15	7	8	8

Fuente: Seminario análisis de falla

Los valores medidos están en centésimas de milímetros, recordar que los valores aceptables no deben exceder de 0.08 [mm] de ovalidad de acuerdo con lo que dice el manual del fabricante.

2.1.2. Montaje de la biela

Un mal proceso al momento de montar la biela generará fallas a futuro, la cual puede ser una de las causas de esta falla. Es por esta razón que se solicita gente capacitada o expertos en el proceso de montaje o desmontaje del motor.

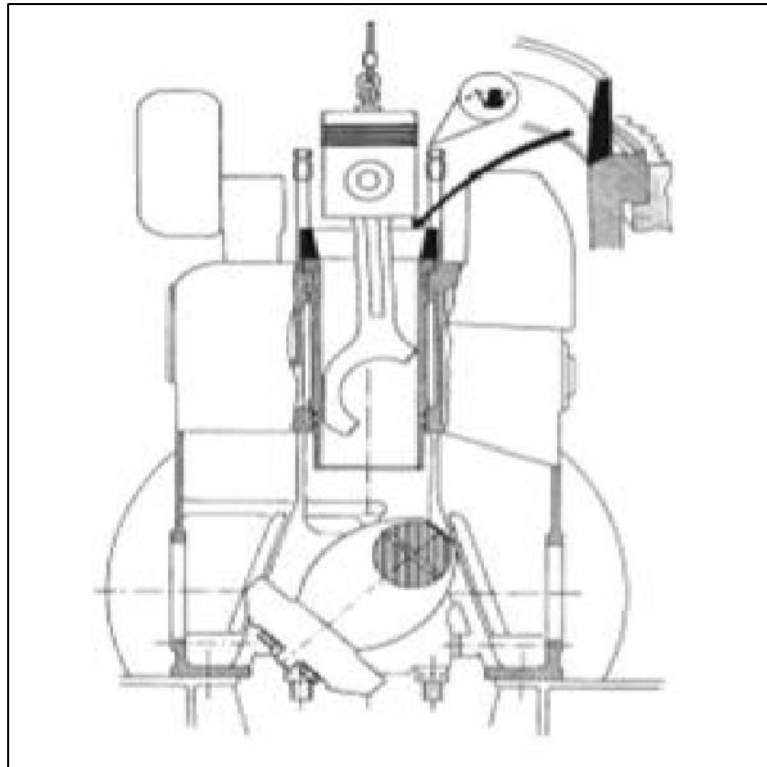


Fuente: seminario análisis de falla.

Figura 2-2 Montaje correcto de biela.

2.1.3. Procedimiento de biela dado por fabricante

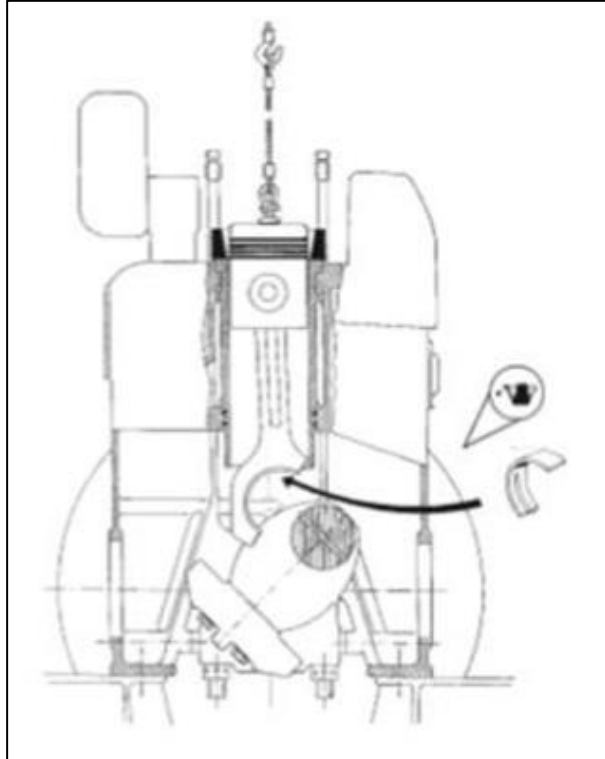
- Trasladar conjunto pistón biela previamente armado, con una limpieza con aire a presión previa en los laberintos internos de la biela y en el pistón, así liberándola de suciedad en sus ductos, y montar guía de ayuda para que estas calcen en el cilindro.



Fuente: Manual MAN 23/30H.

Figura 2-3 Maniobra de montaje por medio de guías (manual del fabricante)

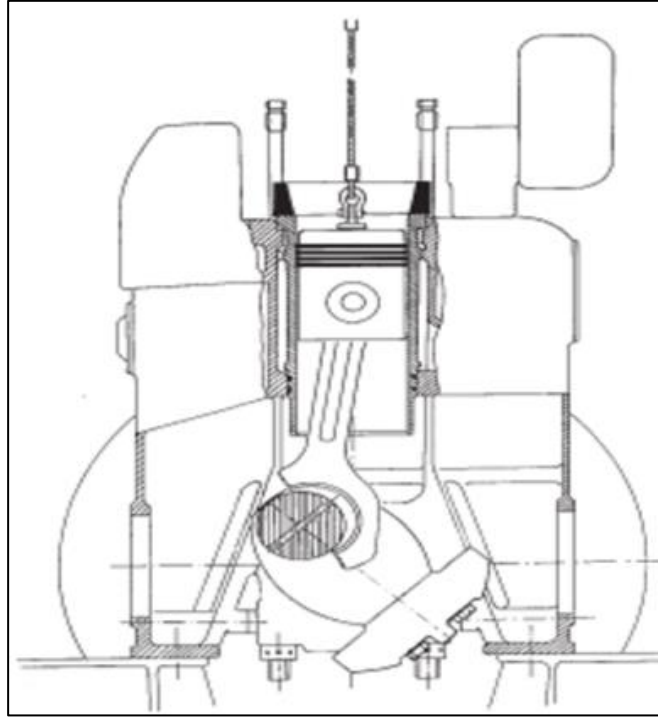
- Antes de ingresar la biela con su pistón al cilindro conviene instalar casquillo antifricción (cojinetes de bielas), éste debe ser asegurado con una amarra suave, suficiente para que no se caiga el casquillo.



Fuente: Manual MAN 23/30H.

Figura 2-4 Instalación de cojinetes antifricción

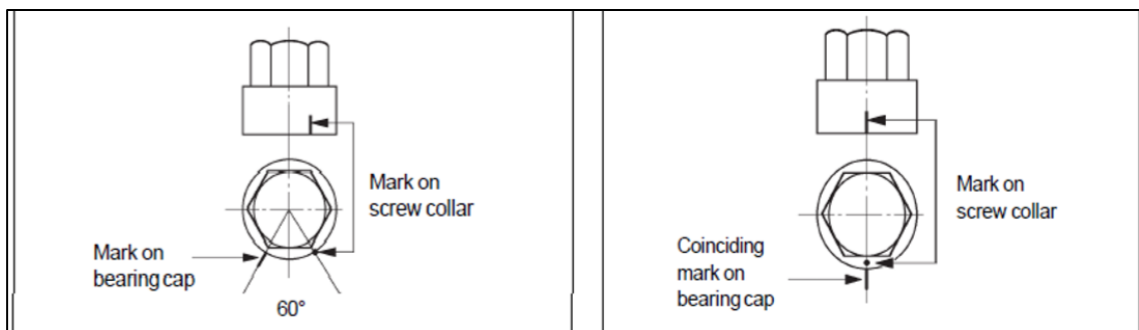
- El respaldo en donde va instalado el casquillo en la biela, debe estar seco y exento de aceite lubricante, tampoco deben existir relieves, quienes disminuyen el claro admisible entre el muñón de biela y el descanso de biela, además no habría un buen contacto superficial entre el casquillo y el respaldo de la biela.
- Ingresar lentamente la biela con su pistón en el cilindro, en la posición que indica el manual.
- Mantener muñón de la respectiva biela 50° antes de su punto muerto superior. El muñón debe estar prolijamente limpio y lubricado.
- Arriar lentamente el tecele que soporta el conjunto pistón biela, fijándose como ingresa el pistón con los respectivos anillos en la herramienta de servicio llamada anillara o guía para alinear y comprimir los anillos.
- En el punto anterior el deslizamiento se torna lento o trabado producto de la compresión de los anillos en el cilindro, entonces el pistón debe ser ayudado aplicando una fuerza con las manos en la dirección de la carrera del pistón.
- Una vez pasada la guía de los anillos, seguir bajando el conjunto hasta que la biela con su casquillo haga contacto con el muñón del cigüeñal. Verificar que el contacto sea completo.



Fuente: Manual MAN 23/30H.

Figura 2-5 Contacto entre el muñón y la biela

- Instalar la tapa de biela con el respectivo casquillo antifricción o descanso de biela.
- Aplicar el mismo procedimiento al desmontar la tapa, pero a la inversa.
- Aplicar un primer pre torque a 50 Nm, en el orden estipulado en el manual del fabricante, luego aplicar en el mismo orden un torque de 250 Nm. Posterior a este paso se deben marcar las cabezas de los pernos, específicamente en una de las aristas visibles de los hexágonos, y hacer una marca en la base de la tapa.



Fuente: Manual MAN 23/30H.

Figura 2-6 Marcas de guía para torque angular

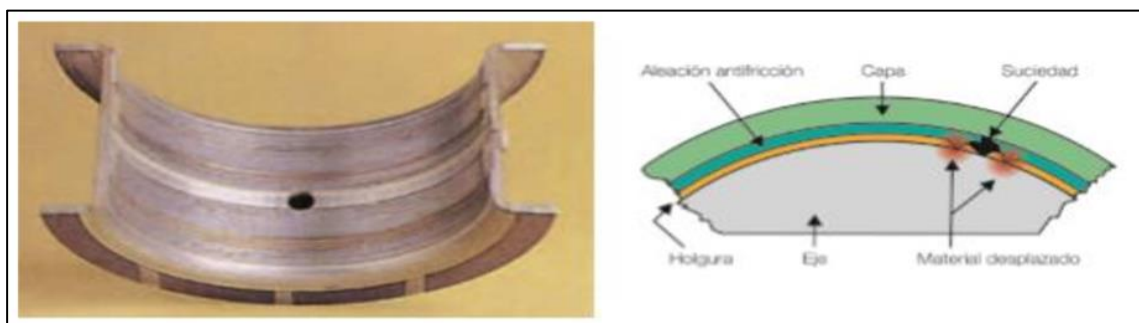
2.1.4. Daño en cojinetes

Junto con la ovaladura de biela, el motor presentara daños en los cojinetes debido a ser parte de la superficie rozante, entre biela-cigüeñal.

La mayor parte del desgaste normal de un cojinete ocurre en la puesta en marcha del motor o en el inicio de la operación luego el desgaste continuará, pero con un ritmo reducido. Si se efectuara un mantenimiento preventivo adecuado, solo las partículas de dimensiones reducidas no retenidas en el filtro de aceite estarán presentes en el proceso de abrasión de la superficie del cojinete. En esa condición, los cojinetes deben tener una vida considerablemente larga.

La mayor evidencia de que el tiempo de vida útil del cojinete fue sobrepasada es el apareamiento de ruidos en el motor ('ráfagas') y una disminución de la presión del aceite lubricante. El desgaste normal es comúnmente indicado por una pequeña cantidad de rayas en la superficie del cojinete, provocado por partículas extrañas no retenidas por el filtro. Esas rayas no representan problemas, mientras la aleación base no sea alcanzada, siendo que, con la operación continua puede ocurrir que desaparezcan las rayas antes mencionadas.

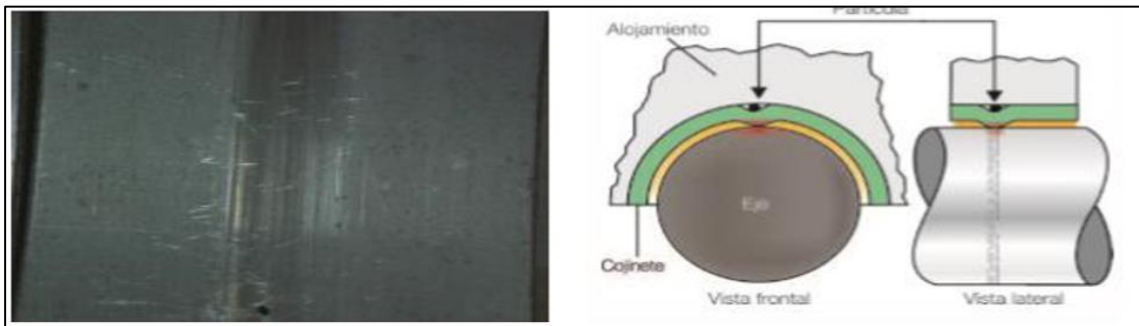
Partículas extrañas quedan impregnadas en la aleación antifricción, provocando el desplazamiento del material. Se puede encontrar también rayas en la superficie del cojinete.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-7 Partículas extrañas en la superficie del cojinete

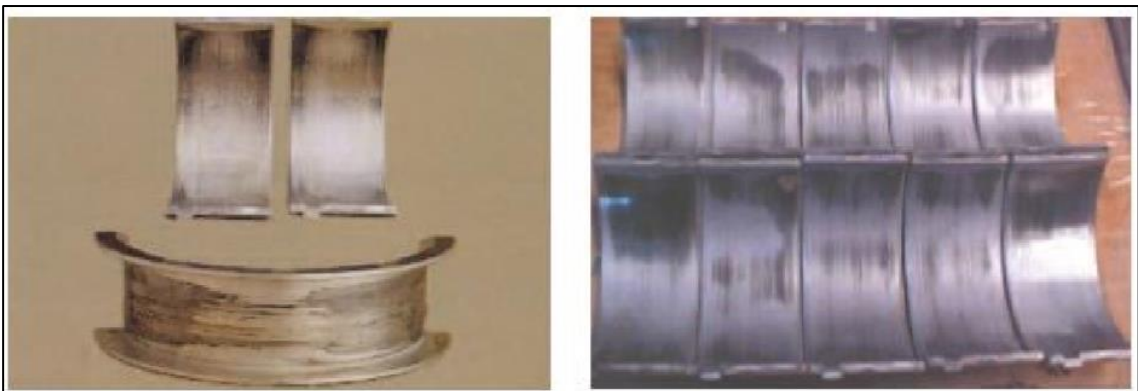
Área localizada de desgaste en la superficie de la aleación, correspondiendo a una marca provocada por la presencia de partícula extraña en el reverso del cojinete.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-8 Partículas extrañas en el reverso del cojinete

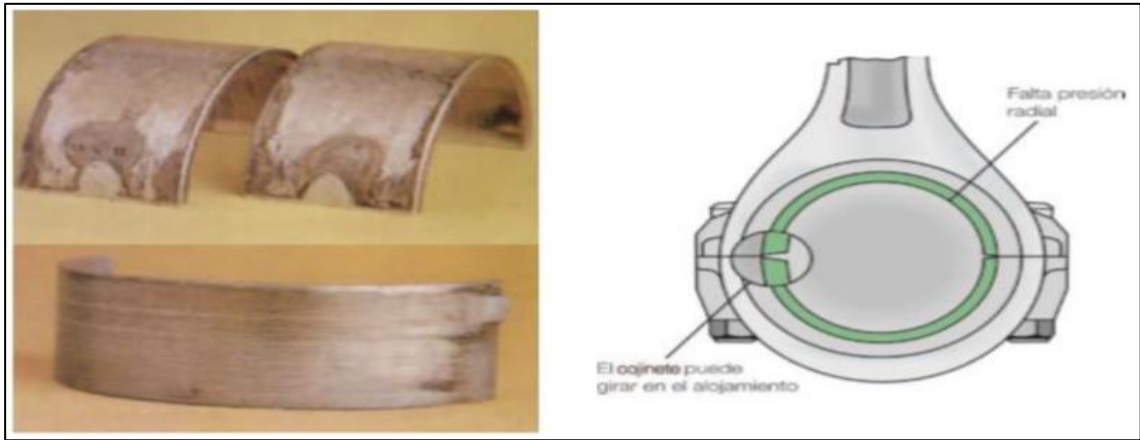
Áreas de desgaste excesivo próximas a las líneas de partición del cojinete, el cojinete adquiere la forma oval del alojamiento.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-9 Partículas extrañas en la superficie del cojinete

Áreas de desgaste excesivo junto a la línea de partición, en uno de los cojinetes o en ambos.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-10 Insuficiente apriete de los cojinetes

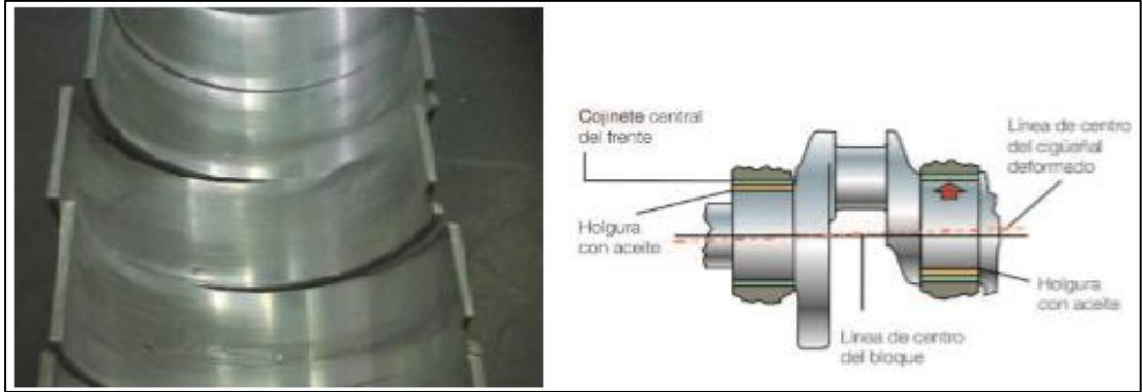
Áreas de desgaste excesivo en los lados diagonalmente opuestos de cada cojinete producto de la biela torcida, elevando la presión en esas áreas de contacto.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-11 Área de desgaste excesivo

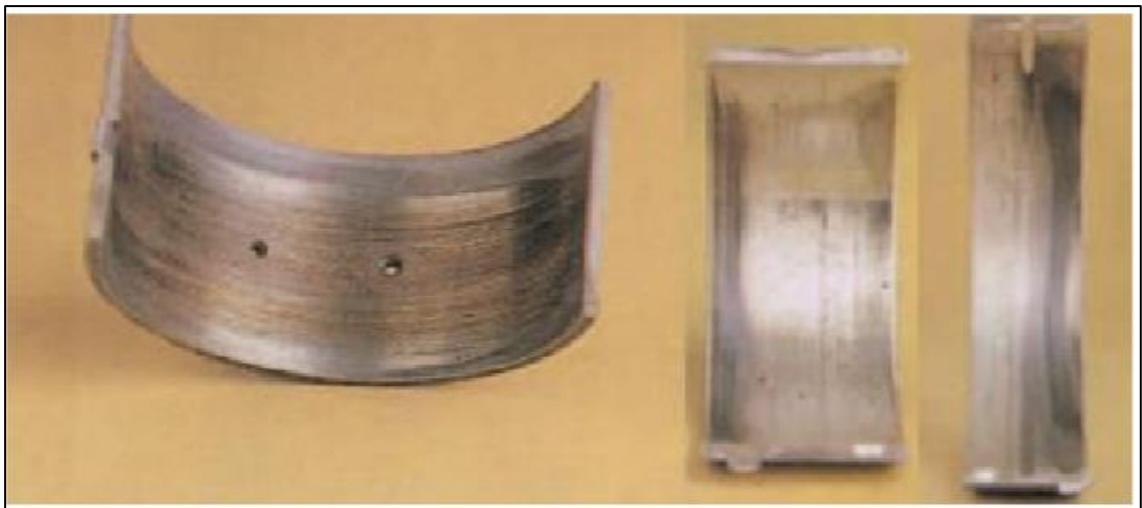
Una faja de desgaste bien definida puede ser observada en el conjunto de cojinetes centrales superiores o en el conjunto de los inferiores, provocando una disminución de holgura provocando contacto metal-metal.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-12 Degaste central en los cojines

Faja de desgaste desigual en el cojinete. De acuerdo con las regiones que quedan sometidas a mayores presiones, se distinguen tres aspectos principales que corresponden respectivamente a los defectos de forma de los cuellos de cigüeñal deformado.



Fuente: Manual de fallas prematuras Mahle

Figura 2-13 Degaste desigual producto de cigüeñal deformado

2.2. COSTOS DE FALLA

Dentro de los costos del mantenimiento, están incluidos los costos de repuestos, mano de obra y de transporte del equipo a cargo de este trabajo, lo cual permitirá tener una idea global del valor de una falla inesperada.

2.2.1. Costos de repuestos

Con la ovaladura de bielas, se debió hacer el cambio de todos los componentes que estaban en contacto con esta, junto con las piezas que no se pueden volver a reutilizar.

Tabla 2-2 Costos de repuestos

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR (UF)
Biela	6	279,504
Buje de bronce de pie de biela	6	69,876
Cojinete Antifricción	6	60
Set de anillo de pistón	6	45,6
Sello de conectores agua	6	7,68
Anillo de sacrificio del cilindro	6	19,2
Anillo cello culata	6	28,8
Junta de descarga de gases de la culata	6	8,64
O ringde vitón culata	6	4,32
Cigüeñal + importación	1	1800
total		2323,62

Fuente: MAN diésel & turbo.

2.2.2. Costos mano de obra

Para poder generar un Overhaul correctamente fue necesario la contratación de gente especializada, obteniendo un trabajo mucho más limpio y con menos riesgos de poder generar un error al momento de hacer el ensamble del motor.

Tabla 2-3 Costo mano de obra.

DESCRIPCION	VALOR (UF)
Desmontaje y montaje de componentes	920
TOTAL	920

Fuente: creación propia.

Dentro de estos valores, se encuentran:

- Servicio de ingeniería compuestos por 3 personas (Ingeniero supervisor, técnico mecánico y ayudante de mecánico).
- Duración de 2 días, con 10 horas de trabajo.
- Herramientas e implementos de seguridad.
- Alimentación y movilización.
- Consumibles.

2.2.3. Costos de transporte y movilización

Para poder generar el mantenimiento correctivo del motor MAN 6L 23/30H el personal a cargo debió movilizarse mediante lancha desde el puerto de Quintero a mar adentro, incluyendo en los costos este transporte junto al transporte en vehículo.

Tabla 2-4 Costos de transporte.

TRANSPORTE Y MOVILIZACION	VALOR (UF)
Servicio de lancha y vehículo	6,4
TOTAL	6,4

Fuente: creación propia.

2.2.4. Costos totales de mantenimiento correctivo

Los siguientes valores corresponde a los costos totales de mantenimiento, que se consideraron los costos de repuestos, costo de mantención, traslados. Todo esto suma el costo total de mantención.

Tabla 2-5 Costo total mantenimiento correctivo.

COSTO TOTAL DE MANTENIMIENTO	VALOR (UF)
Costos de repuestos	2323,62
Costos mano de obra	920
Costos de traslado	6,4
TOTAL	3250,02

Fuente: creación propia.

Siempre hay que efectuar los mantenimientos dados por el fabricante, idealmente con repuestos originales o que recomienden estos, esto es para poder alargar la vida útil del motor tratando de evitar generar mantenimientos no programados incurriendo en altos costos como sería el caso recién mencionado, el cual se tuvo que incurrir en un gasto de unos elevados 3.250,02 UF, valor el cual permite tener un generador prácticamente nuevo, ya que este valor es con repuestos originales y ensamblado por personal capacitado para poder hacer este trabajo.

2.3. CONDICIONES INCORRECTAS DE OPERACIÓN

2.3.1. Aceleraciones bruscas

Aceleración brusca es el cambio repentino de un número elevado de revoluciones del motor, provocando daños en la cabeza de la biela, generando ovaladura de esta. La forma correcta de hacer una aceleración en el motor es comenzar a elevar las revoluciones suavemente.

2.3.2. Anomalía en el proceso de combustión

Al momento de generarse la combustión interna en la cámara de combustión, se produce un encendido espontáneo, lo cual aumenta la velocidad de encendido en 10, provocando un aumento repentino de la presión, presión que puede llegar a alcanzar 300 [bar] por grado de ángulo de cigüeñal, siendo su valor nominal entre 3 a 5 bares por ángulo de cigüeñal, generando sobrecalentamiento debido a una evolución irregular de la combustión. Esto genera principalmente fisuras o roturas en la corona de los segmentos del pistón, como también a lo largo de la biela, generándose así el picado de biela.

El picado de biela también puede presentarse debido a un retardo en el encendido, una combustión descontrolada con elevados picos de presión y una sobrecarga mecánica de la biela. La sobrecarga mecánica puede producirse por una baja presión de compresión, presión de inyección insuficiente o excesiva.

2.3.3. Bloqueo hidráulico

Se puede producir con el ingreso de agua o una excesiva cantidad en la cámara de combustión. Debido a que estos fluidos en estado líquido son incompresibles, se generaría una fuerte carga en el pistón, bulón, biela y culata.

Esto puede suceder porque ha entrado agua en la cámara de combustión a través del sistema de admisión o junta de culata defectuosa, como también por un inyector averiado entre demasiado combustible en la cámara de combustión.

2.3.4. Lubricación ineficiente en arranque

Previo al arranque es necesario activar bombas pre lubricadoras, las cuales permiten la lubricación de todos los componentes internos del motor, con estas bombas ingresa lubricante a presión a por medio de las bancadas y el eje, transmitiendo a todo el motor y sus componentes el lubricante. Si no llegase a generarse la pre lubricación, se generarían desgastes en sus componentes por el contacto metal-metal, como también el incremento de temperatura debido a la fricción generada entre estos componentes.

2.4. PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO

Todo motor a combustión interna o maquinaria presentan un plan de mantenimiento programado el cual es dado por el fabricante después someter a la maquina en cuestión a duras pruebas, para poder obtener la máxima vida útil de está manteniendo sus capacidades.

2.4.1. Plan de mantenimiento dado por fabricante

El motor MAN 23/30H presenta el siguiente plan de mantenimiento, el cual, en condiciones ideales, permitiría generar un overhaul cada 6000 hrs. de funcionamiento.

Tabla 2-6 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H

PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO											
DESCRIPCION X: Cambio o ajuste 0: Verificación de estado	Verifique piezas nuevas / revisadas después de horas	TIEMPO ENTRE OVERHAUL (Hrs)									
		50	200	2000	6000	12000	24000	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	3ER MES
OPERACIÓN DEL MOTOR:											
Lecturas de datos para motor y alternador, con referencia a "Datos de rendimiento del motor"									0		
CABEZA DEL CILINDRO:											
Válvula de admisión y escape: revisión y asentamiento de la válvula					X						
Inspección de entrada, válvulas de escape y guía de válvula.					0						
Verificación de la rotación de los rotadores de válvulas durante la rotación del motor			0								
Manga para inyector de combustible					0						

Fuente: Manual motor MAN 23/30H

Tabla 2-7 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)

PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO											
DESCRIPCION X: Cambio o ajuste 0: Verificación de estado	Verifique piezas nuevas / revisadas después de horas	TIEMPO ENTRE OVERHAUL (Hrs)									
		50	200	2000	6000	12000	24000	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	3ER MES
CABEZA DEL CILINDRO											
Válvula de seguridad: revisión y ajuste de la presión de apertura.					0						
Válvula indicadora					0						0
Paso de agua entre block y culata - inspección					0						
Tuercas de culata - apretar	200										
PISTON, BIELA Y CAMISA DE CILINDRO											
Inspección de pistón.					0						
Anillos de pistón.					X						
Pasador de pistón - biela - verificación de espacio libre					0						
Biela - medición de diámetro interior											
Inspección de casquillos de cojinetes de gran tamaño					0						
Biela - reapriete	200			0							
Camisa de cilindro - limpieza, pulido y medición					X						
Revestimiento del cilindro extraído: compruebe el espacio del agua y el anillo de desgaste en el marco						0					
ÁRBOL DE LEVAS Y TRANSMISIÓN DEL ÁRBOL DE LEVAS.											
Árbol de levas: inspección de ruedas dentadas, pernos, conexiones, etc.	200				0						
Cojinete del árbol de levas - inspección del espacio libre					0						
Ajuste del árbol de levas: compruebe el estado					0						
Lubricación del cojinete del árbol de levas - verificar											
ENGRANAJE OPERATIVO PARA VÁLVULAS DE EBTRADA, VÁLVULAS DE ESCAPE Y BOMBAS DE INYECCION DE COMBUSTIBLE.											
Guía de rodillos para engranajes de válvula.					0						
Engranaje de válvula: puente de válvula, resorte, varilla de empuje, etc.					0						
Guía de rodillos para bomba de inyección de combustible					0						
Caja de guía de rodillos					0						
Válvula de admisión y escape: verificación y ajuste de holgura válvula			0								
Lubricación del engranaje de operación - revisar					0						

Fuente: Manual motor MAN 23/30H

Tabla 2-8 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)

PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO												
DESCRIPCION X: Cambio o ajuste 0: Verificación de estado	Verifique piezas nuevas / revisadas después de horas	TIEMPO ENTRE OVERHAUL (Hrs)										
		50	200	2000	6000	12000	24000	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	3ER MES	OBSERVACIÓN
SISTEMA DE CONTROL Y SEGURIDAD, AUTOMATISMO E INSTRUMENTO												
Equipos de seguridad, alarma y vigilancia											0	
Controlador Lambda - ajuste											0	
Gobernador - verifique el nivel de aceite, vea el libro de instrucciones del gobernador											0	
CIGÜEÑAL Y COJINETE PRINCIPAL:												
Comprobación de la alineación de los rodamientos principales				0								
Inspección del rodamiento principal						0						
Inspección del rodamiento guía				0								
Amortiguador de vibraciones (damper): compruebe el estado					0							
Lubricación de la rueda dentada para lubricación. bomba de aceite y bomba de agua de enfriamiento, etc.						0						
Contrapeso - reapriete	900*			0								
Tapa de cojinete principal y guía - reapriete	200			0								
* Si se puede apretar el tornillo, se debe aflojar y volver a apretar												
BASTIDOR DEL MOTOR Y BASTIDOR BASE												
Manteniendo apretados los pernos - apretando	200			0								
Pernos entre el bastidor del motor y el bastidor base: reapriete	200			0								
Para motores montados flexibles - verifique los montajes antivibraciones	200			0								
Cubierta de seguridad - prueba de funcionamiento				0								
SISTEMA TURBOCOMPRESOR.												
Limpieza húmeda del lado de la turbina.												X
Lavado con agua del lado del compresor.		0										
Enfriador de aire de carga - limpieza e inspección											0	

Fuente: Manual motor MAN 23/30H

Tabla 2-9 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)

PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO												
DESCRIPCION X: Cambio o ajuste 0: Verificación de estado	Verifique piezas nuevas / revisadas después de horas	TIEMPO ENTRE OVERHAUL (Hrs)										
		50	200	2000	6000	12000	24000	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	3ER MES	OBSERVACIÓN
SISTEMA TURBOCOMPRESOR.												
Carcasa del enfriador de aire de carga - drenaje												X
Tubo de escape - compensador												0
SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO												
Motor de arranque por aire: desmontaje e inspección												0
Prueba de funcionamiento: válvula de arranque principal, válvula de arranque, válvulas principales y válvula de arranque de emergencia											0	
Separador de suciedad - desmontaje y limpieza												X
Silenciador - desmontaje y limpieza.												X
Sistema de aire comprimido - drenaje												X
Sistema de aire comprimido: comprobación del sistema.										0		
SISTEMA DE ACEITE COMBUSTIBLE Y EQUIPO DE INYECCION												
Filtro de aceite combustible - desmontaje y limpieza												X
Bomba de alimentación de aceite combustible												X
Bomba de inyección de fuel oil - desmontaje y limpieza												X
Válvula de inyección de combustible: ajuste de la presión de apertura	200			0								
Tubo de alta presión de aceite combustible - desmontaje y control				0								
Ajuste de la presión máxima de combustión.												X
Sistema de combustible - verifique el sistema											0	
Sistema de enfriamiento de la boquilla: compruebe el sistema si está instalado											0	
SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE												
Bomba de aceite lubricante - accionada por motor						0						
Filtro de aceite lubricante - limpieza y limpieza												X
Enfriador de aceite lubricante												X
Bomba de prelubricación - impulsada por él.						0						

Fuente: Manual motor MAN 23/30H

Tabla 2-10 Mantenimiento programado motor MAN 23-30H. (Continuación)

PLAN DE MANTENIMIENTO PROGRAMADO												
DESCRIPCION X: Cambio o ajuste 0: Verificación de estado	Verifique piezas nuevas / revisadas después de horas	TIEMPO ENTRE OVERHAUL (Hrs)										
		50	200	2000	6000	12000	24000	DIARIO	SEMANAL	MENSUAL	3ER MES	OBSERVACIÓN
SISTEMA DE ACEITE LUBRICANTE												
Válvula termostática												0
Filtro centrífugo - limpieza y extracción de papel												X
Bomba de mano												X
Aceite lubricante - muestras de aceite											0	
Sistema de aceite lubricante - verifique el sistema											0	
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA												
Bomba de agua de refrigeración: accionada por motor (agua de mar y agua dulce)					0							
Válvula termostática											0	
Sistema de refrigeración de agua: compruebe el sistema										0		
Sistema de enfriamiento de agua- muestras de agua							0		0			

Fuente: Manual motor MAN 23/30H

2.4.2. Plan de mantenimiento programado versus falla asociada.

A pesar de seguir el plan de mantenimiento programado, el motor presentó una falla de ovaladura en sus bielas y como se conoció previamente, esta ovaladura pudo ser generada por aceleraciones bruscas, anomalías en el proceso de combustión, bloqueo hidráulico o una lubricación ineficiente en el arranque. Reconociendo la causa de la falla se puede apreciar que la ovaladura no es debido a un mal mantenimiento o falta de mantenimiento, si no a un mal manejo de los operadores del motor, los cuales no le prestaron las condiciones necesarias o no mantuvieron las precauciones al momento de manejar el sistema, para poder mantener su vida útil el tiempo necesario antes del overhaul.

**CAPÍTULO 3: ESTABLECIENDO LOS MODOS DEL NUEVO PLAN
DE MANTENIMIENTO DEL MOTOR MAN 23/30H**

3. NUEVO PLAN DE MANTENIMIENTO

Todo fabricante de máquinas, motores, sistemas industriales o particular tiene asociado un mantenimiento programado a sus productos. Estos mantenimientos son hechos generándole largas pruebas al sistema en cuestión. Los mantenimientos que indica el fabricante están hechos para aumentar la vida útil de funcionamiento y la confiabilidad del sistema, pero a pesar de generar los mantenimientos programados, pueden hacerse presente fallas las cuales requieren generar un mantenimiento correctivo para poder eliminar la falla presente.

3.1. FALLA PRESENTADA GENERADOR EN BUQUE PUNTA ANGAMOS

En el año 2014 el buque Punta Angamos el cual posee 3 generadores eléctricos MAN 6L 23/30H, comenzó con el incremento de temperatura en los indicadores de temperatura y sonidos anormales en uno de los tres motores, ocasionadas principalmente por una ovaladura en sus bielas (deformación irregular de la superficie de contacto superior e inferior, provocando una forma oval en vez de circular), junto con esto fallas en cojinetes de la biela y el eje cigüeñal, lo cual provoco el cambio completo de elementos, debiéndole hacer un Overhaul completo al motor, overhaul que no se tenía considerado dentro de los costos de mantenimiento de motor.



Fuente: Seminario de análisis de falla

Figura 3-1 Biela motor 6L23/30H Buque Punta Angamos

3.2. ANÁLISIS DE VIBRACIONES Y TEMPERATURA

Toda falla presenta síntomas previos, ya sea un cambio en su resonancia natural, o un incremento de temperatura en sus partes que se están viendo afectadas por esta falla. Para poder identificar las fallas gracias a estos cambios, es necesario la implementación de sensores de vibraciones que estén monitoreando constantemente los motores, como también la utilización de una cámara termográfica, la cual estará presenciando algún incremento de temperatura, pudiendo de esta forma generar un mantenimiento al equipo afectado.

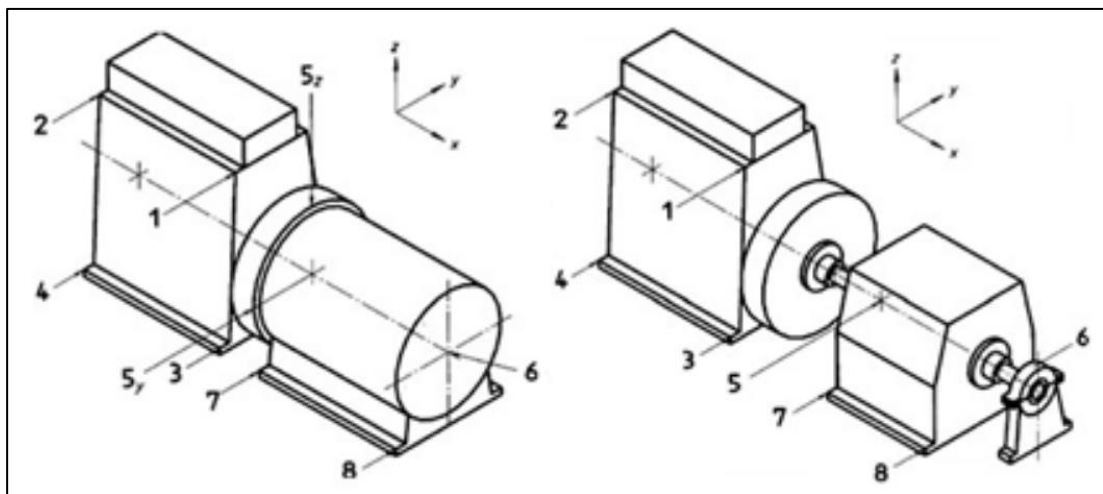
3.2.1. Análisis de vibraciones

La correcta medición de vibraciones en máquinas industriales permite reducir las fallas en estado latentes o fallas inesperadas, reduciendo los costos del mantenimiento correctivo.

Hay que tener en cuenta que todas las máquinas vibran, debido a las tolerancias inherentes a cada uno de sus elementos constructivos. Esto proporciona a una máquina nueva una vibración característica básica mediante la cual comparar futuras vibraciones para su correcta evaluación.

El cambio en la vibración natural de una máquina indicará el funcionamiento anormal de algún elemento de la máquina, obteniéndose diferentes formas de vibrar, para diferentes fallas que pueda presentar la máquina a analizar.

Tomando en consideración los puntos de medición recomendados por el estándar ISO 8528-9, el cual señala los puntos (figura 2-12) en los que se deben posicionar los sensores de medición en un grupo electrógeno de maras.



Fuente: Monitoreado de condición en grupos electrógenos

Figura 3-2 Ubicación de puntos de medición

Para poder realizar los análisis de vibraciones, se requiere solicitar la vibración natural del grupo electrógeno al fabricante, valores los cuales ayudaran a tener una referencia de las vibraciones que debe presentar el motor al momento de estar en funcionamiento.

En caso de no obtener los valores de vibraciones del generador, se puede tomar como referencia los valores indicados en la Tabla 2-2 del estándar ISO 8528-9, la cual muestra los valores de velocidad, desplazamiento y aceleración de un grupo electrógeno.

Junto con las vibraciones en naturales del motor, es necesario saber que los buques presentan una vibración que tiene como nivel máximo de 5 [mm/s] en el rango de 1 a 80 [Hz], este nivel máximo de vibraciones está indicada en la norma ISO-6954 del año 2000.

Para poder llevar a cabo estas mediciones, es necesario utilizar un colector de datos, siendo este caso el colector “FALCON SMART 2” (Figura 2-13), colector que posee 24 bits, frecuencia de muestreo 102.4 kHz, filtro antialiasing, procesamiento en tiempo real 80 kHz, memoria de 3.5 GB, Rango de frecuencia 0 - 80 kHz, interface IEPE control de integración en tiempo real, señales dinámicas (aceleración velocidad, desplazamiento absoluto, desplazamiento relativo, corriente eléctrica, etc.), precisión 1%, siendo uno de los colectores más completos del mercado actualmente. Al ser un colector de datos bastante completo, este facilitaría la medición de datos, reduciendo el margen de error que se pudiera producir al momento de tomar la medición.



Fuente: Cstgroup

Figura 3-3 Colector de datos FALCON SMART 2

Tabla 3-1 Límites de vibración para grupos electrógenos norma ISO 8528-9

Velocidad nominal del motor de combustión recíproca	Salida nominal del sistema generador		Amplitud de vibración			Velocidad de vibración			Aceleración de vibración		
	kVA min^{-1}	kW	Motor de combustión interna alternativo	Generador		Motor de combustión interna alternativo	Generador		Motor de combustión interna alternativo	Generador	
				valor 1	valor 2		valor 1	valor 2		valor 1	valor 2
			mm	mm	mm	mm/s	mm/s	mm/s	m/s ²	m/s ²	m/s ²
≥ 2000 ≤ 3600	≤ 15 1-cilindro motor	≤ 12 1-cilindro motor	-	1,11	1,27	-	70	80	-	44	50
	≤ 50	≤ 40	-	0,8	0,95	-	50	60	-	31	38
	> 50	> 40	-	0,64	0,8	-	40	50	-	25	31
≥ 2000 ≤ 3600	≤ 10	≤ 8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	> 10 ≤ 50	> 8 ≤ 40	-	0,64	-	-	40	-	-	25	-
	> 50 ≤ 125	> 40 ≤ 100	-	0,4	0,48	-	25	30	-	16	19
	> 125 ≤ 250	> 100 ≤ 200	0,72	0,4	0,48	45	25	30	28	16	19
	> 250	> 200	0,72	0,32	0,45	45	20	28	28	13	18
≥ 720 ≤ 1300	≥ 250 ≤ 1250	≥ 200 ≤ 1000	0,72	0,32	0,39	45	20	24	28	13	15
	> 1250	> 1000		0,29	0,35		18	22		11	14
≤ 720	> 1250	> 1000	0,72	0,24	0,32	45	15	15	28	9,5	13

Fuente: Monitoreado de condición en grupos electrógenos

3.2.2. Análisis termográfico

En todo tipo de maquinaria industrial, incluyendo los grupos generadores, al presentar alguna falla, ya sea, mecánica, eléctrica o de fabricación, presentan un incremento de temperatura, incrementos que pueden ser detectados mediante la monitorización de temperatura con sistemas de Termovisión por infrarrojo. Teniendo esto en consideración, la implementación de este tipo de tecnología para el mantenimiento predictivo permitirá minimizar el riesgo de un fallo inesperado.

El sistema de cámara infrarroja, la cual es utilizada para análisis termográficos, refleja la temperatura interna estimada del motor. Los datos recolectados por el detector de la cámara son transmitidos a una serie de sensores electrónicos que traducirán el comportamiento de la temperatura del motor en imágenes. Esta imagen se visualiza en una pantalla que permite al especialista ver qué punto está trabajando a un nivel de temperatura normal y cual uno erróneo.

La imagen radiométrica representa las zonas de mayor temperatura con una escala de grises o de color. Si la intensidad del color no es la correcta, esto sería un indicio de una avería que afecta la productividad del motor.

Las principales ventajas del uso de análisis termográficos son:

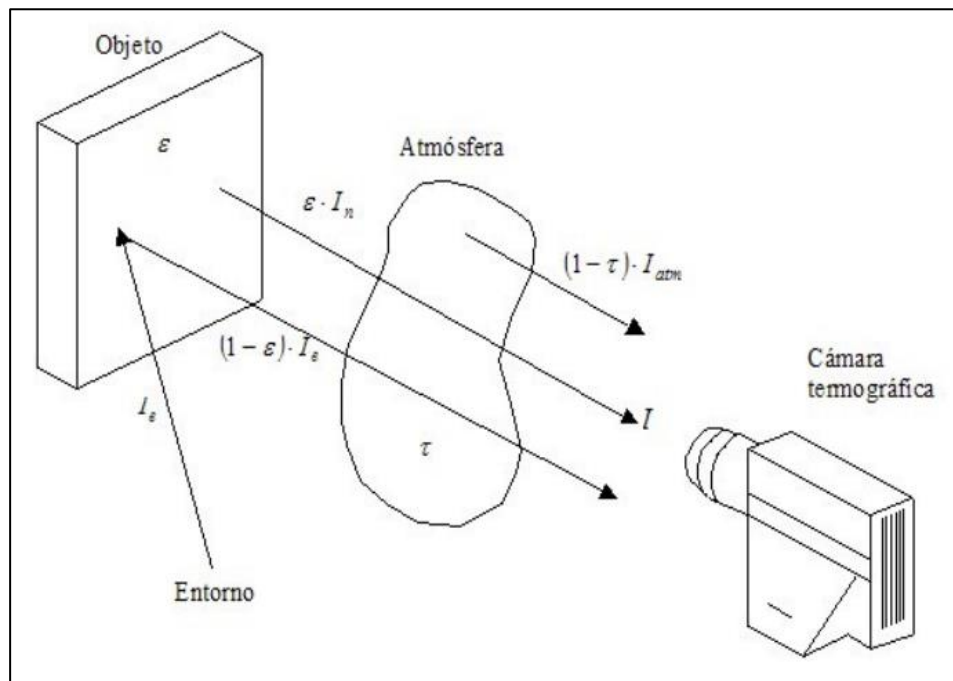
- Método de análisis sin detención de procesos.
- Baja peligrosidad para el operario, evitando el contacto con el equipo.
- Detección más exacta de fallas en el sistema.
- Reducción en tiempo de reparación por la localización precisa de la falla.
- Información más precisa para el personal de mantenimiento.
- Facilita el seguimiento de reparaciones previas.
- Permite verificar una reparación o mantenimiento bien hecho.

A diferencia de nuestros ojos, una cámara termográfica tiene la capacidad de detectar zonas electromagnéticas que no se pueden apreciar a simple vista, como es la luz ultravioleta e infrarroja. La principal fuente de radiación infrarroja es el calor o radiación térmica, siendo esta cualquier temperatura superior a $-273.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ o cero absolutos. Entre más caliente este un objeto, mayor será la radiación infrarroja emitida por tal.

Al situar la cámara termográfica delante de un objeto cuya temperatura se desea conocer, la cámara recibe energía infrarroja que es la suma de tres componentes:

- La energía infrarroja, I , procedente de un objeto.
- La energía reflejada por dicho objeto, $(1-e) I_e$ del entorno.
- La energía emitida por el ambiente, $(1-t) I_{atm}$.

La energía total es recibida por la cámara termográfica, la cual, a través de un conjunto de lentes sobre un detector de infrarrojos, procesa la información, convirtiendo los datos provenientes del detector en una imagen que puede ser visualizadas en la pantalla.



Fuente: <https://www.juanpalacios.es/>

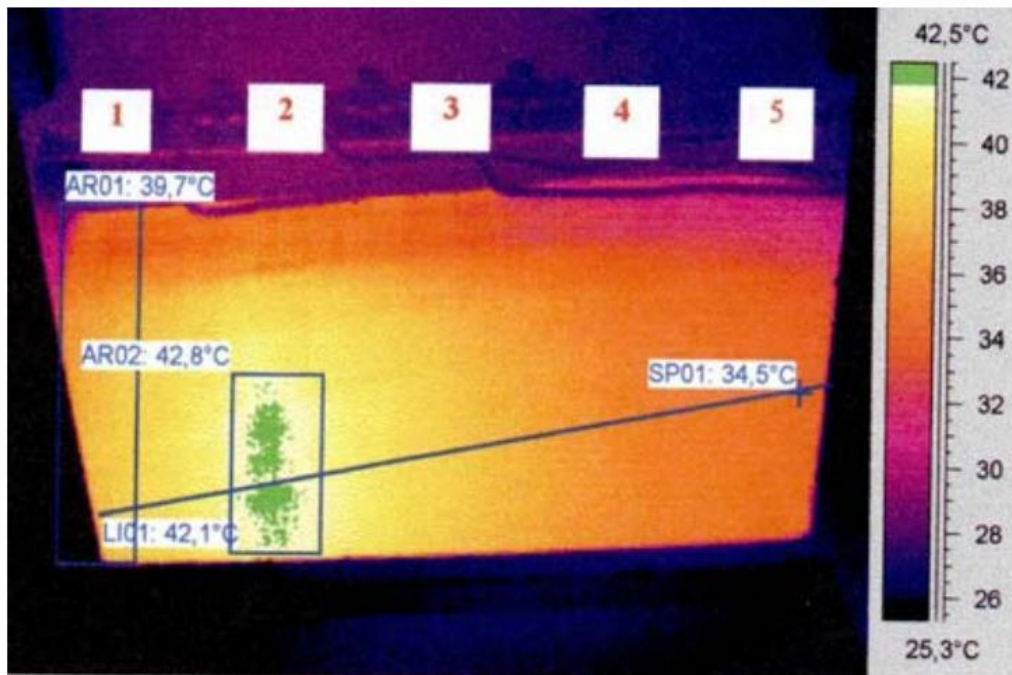
Figura 3-4 Procesamiento medición termográfica

El análisis termográfico, permite determinar puntos calientes y zonas que indican la presencia de anomalías en equipos eléctricos y electrónicos, desalineamiento de engranajes y fugas de calor en equipos de proceso.



Fuente: Mantenimiento predictivo de motores diésel marinos mediante correlación de imágenes termográfica.

Figura 3-5 Alineamiento de un engranaje. Foto con luz visible



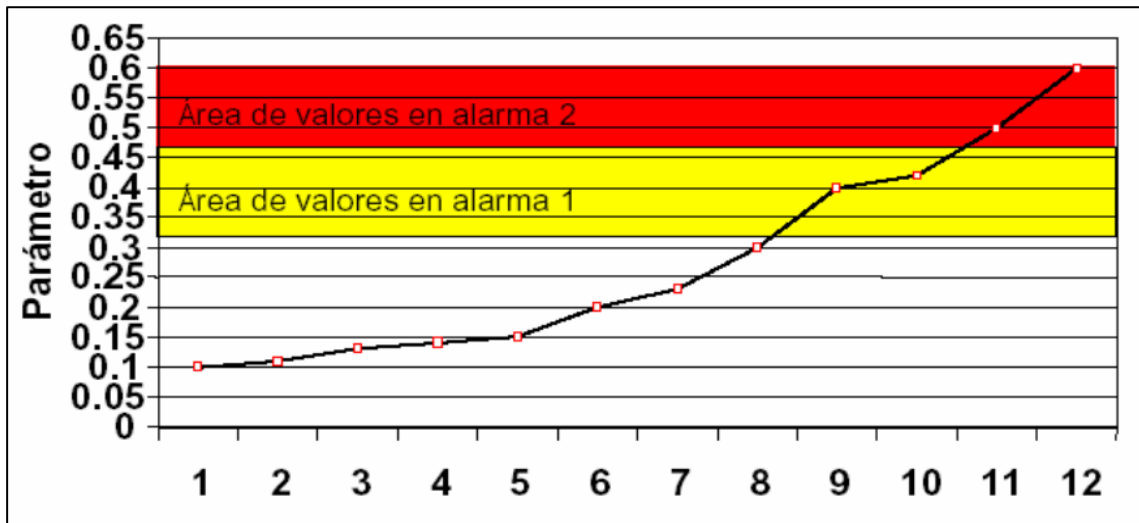
Fuente: Mantenimiento predictivo de motores diésel marinos mediante correlación de imágenes termográficas.

Figura 3-6 Alineamiento de un engranaje. Imagen termográfica

Hay que tener en cuenta que la energía desarrollada por un motor diésel está dividida en:

- 25% -Energía suministrada por el motor como trabajo mecánico (Potencia efectiva).
- 19% -La cantidad de calor transmitida al agua de refrigeración.
- 44% -Cantidad contenida en los gases de escape.
- 12% -Cantidad de calor transmitido por el motor al ambiente (radiación–conducción).

Para utilizar de mejor forma las mediciones termográficas en un plan de mantenimiento predictivo, se deberá tener una recopilación de datos o parámetros del proceso de funcionamiento de la maquina en cuestión. Con estos parámetros se sabrá si las temperaturas las cuales se encuentren en ese momento la maquina son las correctas o están en presencia de una futura falla. Por otro lado, si se hace un seguimiento con una recopilación de datos, se podrán generar gráficos con tendencias.



Fuente: Mantenimiento predictivo de motores diésel marinos mediante correlación de imágenes termográficas.

Gráfico 3-1 Gráfico de tendencia.

Con la confección de un gráfico de tendencia y con las correctas técnicas (herramientas, equipos, conocimientos, métodos, procedimientos y filosofías), se podrán predecir de forma correcta los eventos en el sistema, evitando interferencias inesperadas en el proceso productivo, tomando acciones previas a la falla para evitarlos, estas acciones

pueden ser principalmente una parada de plante, una parada planificada del sistema con problemas, o un derivado a un sistema secundario si es que es posible para permitir el mantenimiento del sistema principal.

Con la correcta interpretación de estos dos análisis, (vibraciones y termográfico) se podrá conocer las condiciones de operación de los sistemas de manera segura y eficiente.

Gracias que las técnicas de monitoreo, están dirigidos a la medición de variables de forma constante, las cuales serán indicadores del estado en el que se encuentran las máquinas y los sistemas a analizar, comparando los valores presentados en el momento con los valores dados por el fabricante, los cuales debiesen tomarse como estándar, como también generar un correcto análisis del comportamiento en el tiempo de la maquina o sistema, obteniendo tendencias de comportamiento, cambios de valores en sus mediciones.

Con estos valores se podrán generar mantenimientos programados de forma más inteligente, utilizando de mejor manera los componentes de las máquinas, como también evitar una falla inesperada de algún componente critico el cual generaría una parada de emergencia estancando todo el proceso industrial, aumentando el MTBF del sistema.

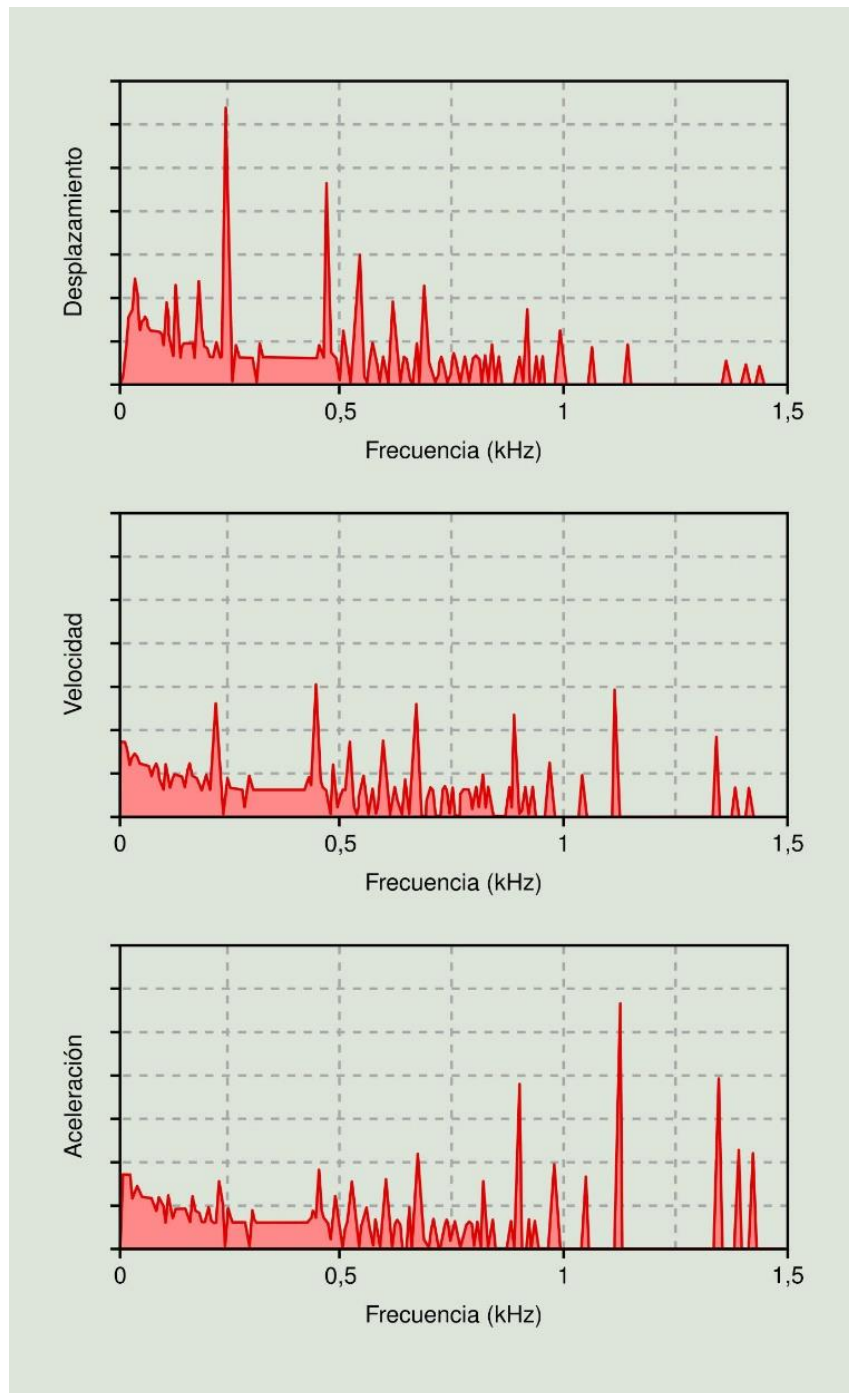
3.3. PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

Para poder obtener el máximo provecho del plan de mantenimiento predictivo, se debe llevar a cabo las mediciones necesarias teniendo cuenta ciertas precauciones una recopilación de información a lo largo del tiempo.

3.3.1. Análisis de vibraciones

La manera de obtener los mejores resultados con el análisis de vibraciones en los sistemas deseados es utilizar al personal capacitado en análisis de vibraciones, los cuales podrán generar los análisis correctos y efectuar las mediciones de manera competente. Estas mediciones se deberán generar 2 veces al día, es decir al inicio de cada turno de trabajo, las cuales son de 12 horas diarias.

Al momento de generar las mediciones, se deberán respaldar y analizar los resultados obtenidos en desplazamiento [mm]; velocidad [mm/s]; aceleración [mm/s²], verificando que estos niveles vibraciones estén en los rangos permitidos, teniendo que generar una comparación de los espectros obtenidos cada 360 horas de funcionamiento, para que de esta forma se pueda generar un comportamiento futuro de los sistemas, pudiendo prever fallas o anomalías en el sistema.



Fuente: <https://power-mi.com/es/content/estudio-de-las-vibraciones>.

Gráfico 3-2 Ejemplo del comportamiento espectral en cada magnitud de vibración.

Con la compilación de más espectros, y más análisis de estos, se podrá obtener un mejor comportamiento futuro del sistema, teniendo una mayor exactitud al momento de planificar las intervenciones.

Junto con los análisis generados a lo largo de la vida útil de los sistemas, se debe generar un análisis a profundidad al momento al inicio de su funcionamiento después de haber generado un overhaul, ya que de esta forma se podrá tener certeza si el trabajo realizado fue efectuado de la forma correcta o hubo un mal montaje. Este análisis ayudara a tener las vibraciones iniciales del sistema, pudiendo obtener mejores análisis al momento de hacer el seguimiento de su comportamiento.

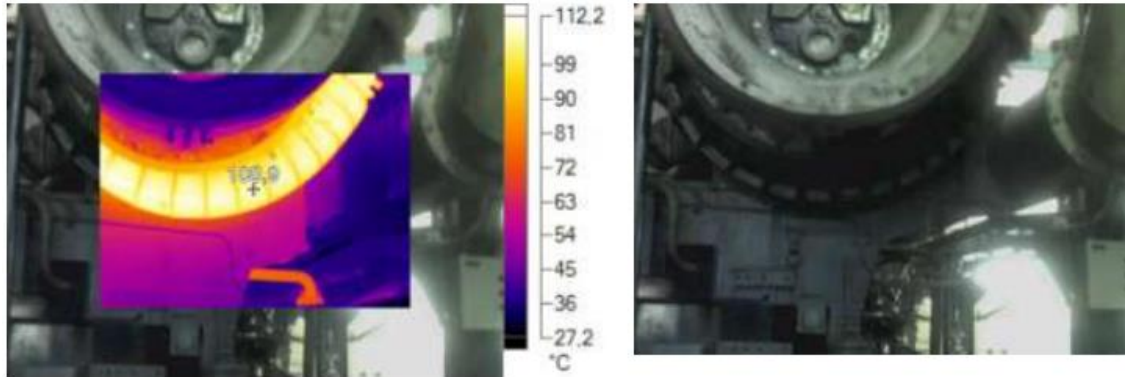
3.3.2. Análisis termográficos

Para poder tener un resultado acertado con el análisis termográfico, es necesario conocer las temperaturas de funcionamiento de las partes del sistema, ya sea las dadas por el fabricante o las generadas después de haber efectuado un hoverhaul y teniendo conocimiento de que el funcionamiento es el indicado.

El personal capacitado de hacer los análisis termográficos, son aquellos que hayan generado el curso impartido al momento de adquirir la cámara termográfica. Este personal deberá efectuar análisis cada 160 horas de funcionamiento del sistema, generando un seguimiento con la recopilación de las imágenes obtenidas en cada análisis efectuado, de esta forma se podrá ir conociendo los cambios en la temperatura de funcionamiento de cada parte del sistema, pudiendo reconocer una falla interna sin la necesidad de desarmar el motor.

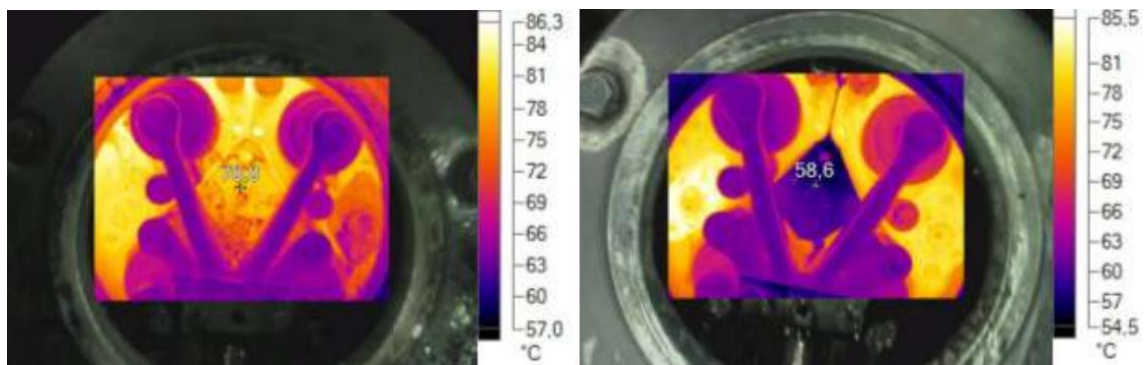
Los elementos para analizar y mantener el registro de esto en el tiempo son los siguientes:

- Turbocompresor.
- Motor eléctrico.
- Bomba de agua.
- Camisas.
- Bomba inyectora.
- Motor eléctrico bomba de lubricación principal
- Bomba de lubricación aceite principal
- Inyectores y balancines mecánicos.



Fuente: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream>

Figura 3-7 Análisis predictivo termografía turbocompresor



Fuente: <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream>

Figura 3-8 Análisis predictivo termografía inyector.

3.4. COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN PLAN DE MANTENIMIENTO PREDICTIVO

A pesar de efectuarle los mantenimientos planificados correspondientes en el tiempo indicado, se puede presentar una falla, falla que va a presentar indicios los cuales no pueden ser perceptibles con los sentidos del hombre o en otro caso no se puede tener certeza la raíz de esta, no pudiendo generar una parada de emergencia planificada para

poder efectuar la reparación de la falla. Por otro lado, si no se tiene precisión de la raíz de la falla, es imposible saber si el costo de reparación será mayor o menos al costo de la detención por la falla, siendo un gasto innecesario el detenimiento del sistema o motor para efectuar la reparación.

Junto con el conocimiento de la raíz de la falla, con un buen análisis se puede conocer el tiempo de vida útil antes que se presente esta, pudiendo planificar de mejor manera la parada del sistema o motor para efectuar el mantenimiento o reparación de este, reduciendo los costos de una parada repentina del sistema.

Para poder generar un mantenimiento predictivo en este caso, se utilizarán dos sistemas de toma de datos, el primero y más importante por su precisión será el análisis de vibraciones, el cual permitirá ver las variaciones en las vibraciones naturales de la máquina, motor o sistema. El segundo sistema y más fácil de usar será el análisis térmico o termográfico el cual permitirá verificar el aumento espontaneo o a lo largo del tiempo de los componentes del sistema, motor o máquina, sabiendo de manera más rápida la variación de temperatura que ha tenido en el tiempo.

3.4.1. Costos implementación análisis de vibraciones

Para la implementación del análisis de vibraciones en un motor, ya sea a combustión interna o eléctrico se necesitaría el colector de datos, el cual junto con los acelerómetros podrán hacer posible la medición de la variación en su forma de vibrar.

Tabla 3-2 Costo adquisición colector de vibraciones.

DESCRIPCION	VALOR (UF)
Colector de datos FALCON SMART 2 Canales	866,77
TOTAL	866,77

Fuente: cstgroup

Junto con la instrumentación necesaria para poder general el análisis de vibraciones, es necesario el personal necesario para poder analizar los datos arrojados.

Será necesario idealmente capacitar a 3 integrantes del equipo que monitorea el sistema motor o los que generen los mantenimientos de este.

La capacitación estaría a cargo de la Universidad de Concepción, el cual tiene un departamento de vibraciones y presenta el curso llamado “CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS – CATEGORÍA III, ISO 18436-2”, curso ideal para el proyecto ya que es un curso teórico-práctico el cual tiene como objetivo capacitar a los participantes en diagnosticar las condiciones de cualquier máquina, obteniendo diferentes técnicas de diagnósticos y conocimientos sobre el funcionamiento de algunas máquinas rotativas comunes, como sería el caso del motor MAN 6L 23/30H, los problemas más comunes y soluciones tecnológicas actuales.

Se debe tener en cuenta que el curso sería impartido por la universidad N°12 según el ranking “QS Latin America” (2020) y en el tercer puesto según el ranking El Ranking Shanghai 2020.

Tabla 3-3 Curso de análisis de vibraciones

DESCRIPCION	CANTIDAD DE CURSANTES	VALOR (UF)
CURSO ANÁLISIS DE VIBRACIONES DE MÁQUINAS	3	28,99
TOTAL		86,98

Fuente: Universidad de concepción.

Para que los cursantes puedan asistir a sus clases deben dirigirse directamente a la región Metropolitana, ya que es ahí donde se impartirá el curso, exactamente en ”Hotel Novapark - Presidente Juan Antonio Ríos 59 – Santiago”, transporte que se efectuaría con la camioneta institucional, curso cual tiene un horario de 08.30 – 12.30 y 14.00 a 18.00 horas, teniendo que concurrir a estas clases 4 días a la semana debido a que este curso es de 32 horas, con un examen final de 2 horas para poder acceder a la aprobación del curso.

Tabla 3-4 Costo transporte para participar en curso

DESCRIPCION	CANTIDAD DE CURSANTES	DIAS	VALOR (UF)
Traslado ida y vuelta	1 GRUPO	5	2,85
Viatico	3	5	6,45
TOTAL			9,30

Fuente: creación propia.

Para poder obtener los mejores resultados de la inversión hecha con estos tres integrantes, deberán firmar un contrato en el cual no pueden dejar la empresa antes de 18 meses y si llegasen a hacerlo deberán cancelar la totalidad del curso. Este es como método de protección de la empresa de que esta inversión sea aprovechada en la empresa.

Tabla 3-5 Costo implementación análisis de vibraciones

DESCRIPCION	VALOR (UF)
Colector de datos	866,77
Curso Análisis de vibraciones	86,98
Gastos participantes	9,3
TOTAL	963,05

Fuente: creación propia.

3.4.2. Costos implementación análisis termográfico

Un buen complemento para un mantenimiento predictivo es la utilización de una cámara termográfica, la cual permitirá ver los cambios de temperatura en el interior y exterior de la maquinaria sin tener la necesidad de desarmar el sistema a analizar.

Tabla 3-6 Costo adquisición cámara termográfica

DESCRIPCION	VALOR (UF)
Colector de datos Cámara Termográfica AT8	384,06
TOTAL	384,06

Fuente: cstgroup

Para poder sacarle el mejor provecho a esta cámara termográfica, es necesario un curso, el cual viene incluido con la compra de la Cámara Termográfica AT8, este curso permite la participación de dos personas, teniendo una duración de 4 horas un solo día, dictándose en la locación que le acomode a la empresa que adquiere este producto.

3.4.3. Costo total del proyecto

Los siguientes valores representan el costo total de implementación del mantenimiento predictivo.

Tabla 3-7 Costo implementación mantenimiento predictivo

DESCRIPCION	VALOR (UF)
Implementación análisis de vibraciones	963,05
Implementación análisis termográfico	384,06
TOTAL	1347,11

Fuente: Creación propia.

El costo de implementación del mantenimiento predictivo servirá para poder aplicarle este mantenimiento a los 3 motores generadores como a los mismos generadores eléctricos, los cuales están acoplados a los motores MAN 6L 23/30H.

Con la implementación de un mantenimiento predictivo se podrán encontrar inicios de fallas los cuales no son perceptibles por los operadores, como es en el caso del motor MAN 6L 23/30H, del buque Punta Angamos, en el cual, si se hubiese detectado la falla al inicio, el gasto en repuestos hubiese sido menor.

Tabla 3-8 valor de repuestos

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR (UF)
Biela	6	279,504
Buje de bronce de pie de biela	6	69,876
Cojinete Antifricción	6	60
Set de anillo de pistón	6	45,6
Sello de conectores agua	6	7,68
Anillo de sacrificio del cilindro	6	19,2
Anillo cello culata	6	28,8
Junta de descarga de gases de la culata	6	8,64
O`ringde vitón culata	6	4,32
total		523,62

Fuente: MAN diesel & turbo.

De esta forma, se hubiese podido ahorrar el costo del cigüeñal con el costo de importación, debido a que, si el motor sigue funcionando con la falla, los elementos como el cigüeñal comenzará a deformarse, no pudiendo ser vuelto a usar.

Tabla 3-9 Costo de cigüeñal

DESCRIPCION	CANTIDAD	VALOR (UF)
Cigüeñal + importación	1	1800
TOTAL		1800

Fuente: MAN diésel & turbo.

Finalmente, con la utilización del mantenimiento predictivo se podrá conocer de mejor manera las condiciones del motor, tanto sus condiciones internas como las condiciones de operación, teniendo un mucho mejor control del sistema, sabiendo de mejor manera si la falla fue provocada por un mal manejo de los operadores, problemas en el combustible o una mala lubricación del sistema.

3.5. FLUJO DE CAJA.

Para poder entender la necesidad de implementar este proyecto, se presentará el flujo de caja, el cual dará a conocer las diferencias en los costos finales del mantenimiento correctivo. Para tener una referencia en el tiempo, se presentará con un horizonte de 5 años, después de este tiempo se pueden necesitar incurrir en gastos de actualización de programas, nuevos cursos de análisis de vibraciones o cambios de equipos, los cuales no se tomarán en cuenta en este análisis.

Tabla 3-10 flujo de caja.

PRONÓSTICO DE DISMINUCIÓN DE COSTOS EN MANTENIMIENTO CORRECTIVO (UF).							
AÑO		0	1	2	3	4	5
1	repuestos (-)	-	2323,62	2323,62	2323,62	2323,62	2323,62
2	mano de obra (-)	-	920	920	920	920	920
3	traslado (-)	-	6,4	6,4	6,4	6,4	6,4
4	costo de mantenimiento correctivo	-	3250,02	3250,02	3250,02	3250,02	3250,02
5	análisis de vibraciones (-)	866,77	-	-	-	-	-
6	curso de análisis de vibraciones (-)	86,98	-	-	-	-	-
7	traslado a curso de vibraciones (-)	9,3	-	-	-	-	-
8	análisis termográfico (-)	384,06	-	-	-	-	-
9	inversión en mantenimiento predictivo	1347,11	-	-	-	-	-
10	disminución en costos de mantenimiento correctivo (+)	-	1800	1800	1800	1800	1800
11	costo de mantenimiento correctivo con mantenimiento predictivo aplicado	-	1450,02	1450,02	1450,02	1450,02	1450,02
12	flujo de caja final	1347,11	1450,02	1450,02	1450,02	1450,02	1450,02

Fuente: creación propia.

3.5.1. V.A.N.

Habiendo generado el flujo de caja, se podrá conocer un valor mas acertado de la inversión a generar, esto es obteniendo el “VALOR ACTUAL NETO” o “V.A.N.”

Obteniendo el V.A.N. se podrá tener una referencia del ahorro aproximado en el plan de mantenimiento correctivo, llevando todos los valores de cada año del horizonte al presente. Se obtendrá el V.A.N. con la formula $VAN = F_0 + \sum_{t=1}^n \frac{F}{(1+r)^t}$

Tabla 3-11 V.A.N.

V.A.N	
Inversión (F_0)	1347,11
Horizonte (t)	5 AÑOS
Ahorro (F)	1800
Rentabilidad (r)	6%
V.A.N	6235,14

Fuente: creación propia.

Obteniendo el V.A.N. se aprecia que a final del periodo de los 5 años se obtendría un ahorro de 6235.14 [UF] en el mantenimiento correctivo, siendo un proyecto viable generando un gran ahorro al momento de efectuar los mantenimientos correctivos.

3.5.2. B.A.U.E.

Con el B.A.U.E. o “Beneficio Actual Equivalente” permitirá tener una referencia del ahorro que se generará cada año del horizonte del proyecto. Para poder obtener el B.A.U.E. se deberá utilizar le formula $BAUE = VAN * \frac{(1+r)^{n*r}}{(1+r)^{n-1}}$

Tabla 3-12 B.A.U.E.

B.A.U.E.	
RENTABILIDAD (r)	6%
HORIZONTE (t)	5 años
VAN	6235,14
BAUE	1480,2

Fuente: fuente propia.

Habiendo obtenido el B.A.U.E. se puede tener un aproximado de cuanto debería ser el ahorro anual en el mantenimiento correctivo, siendo este ahorro un aproximado de 1480.2 [UF] anual.

CONCLUSIONES

La modificación de un plan de mantenimiento dado por el fabricante, plan de mantenimiento el cual ha sido probado y es generado para poder darle una vida útil más extensa al motor, es una decisión en la cual, de ser aceptada, la empresa debe generar una inversión, la cual puede verse reflejados en la disminución en el costo final de mantenimiento del sistema, o costos los cuales no se obtienen los resultados deseados, transformándose en pérdidas.

El motor MAN 23/30H a pesar de estar capacitado para trabajar en condiciones extremas, como es en la industria marítima, en la cual tiene que estar capacitado para poder ser acoplado a un generador eléctrico el cual debe alimentar todos los sistemas eléctricos de la embarcación sin interrupción alguna mientras sea requerido. Teniendo que soportar 16.000 hrs. de funcionamiento sin perder potencia alguna o presentar fallas previas antes de generar el Overhaul.

A pesar de estar capacitado el motor para poder funcionar las horas requeridas, este puede presentar fallas antes de lo debido, ya sea por factores externos, como es el mal uso por parte de los operarios, anomalías en el proceso de combustión, debido por el uso de HFO incorrecto, como también por problemas internos del motor, ya sea mala lubricación en el arranque o bloqueos hidráulicos. Anomalías las cuales presentan fallas en el motor, como fue en el caso del motor MAN 23/30H, el cual genero un defecto en sus bielas, cojinetes, cigüeñal, etc. Provocando una reparación de más de 3.200 [UF], dejando a la embarcación sin un generador como también sin poder seguir con sus funciones hasta haber efectuado la reparación completa de este motor.

Para poder evitar concurrir en una reparación tan alta como fue la ovaladura de la biela, se propuso la implementación de un plan de mantenimiento predictivo, la cual con la ayuda de una cámara termográfica, como un colector de vibraciones se pueden tener parámetros adecuados y deseados para poder mantener un control del funcionamiento del motor, como también información en vivo de este, pudiendo percatarse de las anomalías que presente, ya sea una aceleración brusca, revoluciones inadecuadas de funcionamiento, una mala combustión, cambios de temperatura al interior del motor, pudiendo generar un seguimiento de estas anomalías sin la necesidad de desarmar el motor o detener la producción.

Para poder implementar el mantenimiento predictivo la empresa debe generar una inversión de 1347.11 [UF], obteniendo el sistema completo de análisis de vibraciones,

como también el análisis termográfico, ambos análisis con la gente capacitada para la correcta utilización de los sistemas, pudiendo analizar de forma adecuada los resultados obtenidos con los colectores de datos.

En el caso que se hubiese tenido el análisis predictivo funcionando correctamente antes de haberse generado la falla, o se hubiesen percatado al inicio de las anomalías en el funcionamiento del motor, la reparación hubiese tenido un costo a 525 [UF], ya que con la temprana detención del sistema el cigüeñal no habría presentado deformación alguna, pudiendo haberse ahorrado 1800 [UF] en repuesto y mano de obra, un costo mucho mayor que al de la misma implementación de los dos análisis predictivos, siendo una gran implementación en el mantenimiento de los generadores, más teniendo en cuenta que estos análisis pueden ser utilizado no solo en un motor, si no también en los otros dos generadores eléctricos y otros sistemas complementarios en las que se conozcan sus vibraciones naturales o sus temperaturas de funcionamiento.

Para finalizar se recomienda tanto a los operarios como a los mantenedores:

- Generar una capacitación del correcto funcionamiento de los motores eléctricos, como de los sistemas de la embarcación, pudiendo así obtener una vida útil más amplia de todos estos sistemas.
- Estar siempre atento de las mantenciones programadas de los motores, sin saltarse chequeos, como tampoco abaratar costos en repuestos, utilizado los recomendados por el fabricante.
- Mantener bitácoras de anomalías, fallas, chequeos y mantenciones del motor, para poder generar análisis futuros de las fallas, como también tener los tiempos entre fallas.
- Mantener un orden al momento de generar los mantenimiento, chequeo y análisis.

BLOGRAFÍA Y FUENTES DE LA INFORMACIÓN

BIBLIOTECA. UTB. Notas – tesis [en PDF]
<https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0032144.pdf> [Consulta mayo 2020]

CSTGROUP. [en línea] www.cstgroup.cl [Consulta abril 2020]

JUANPALACIOS. Servicio análisis termográfico. [en PDF]
<https://www.juanpalacios.es/wp-content/uploads/2015/12/servicio-analisis-termografico.pdf> [Consulta Abril 2020]

MARINE.MANDIESELTURBO. Diesel 2015 [en línea]
https://marine.mandieselturbo.com/docs/librariesprovider6/dieselfacts/dieselfacts_2015-2_low.pdf?sfvrsn=6 [Consulta marzo 2020]

SCIELO.SLD. Monitoreado de condición en grupos electrógenos. [en línea]
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442018000300130&lng=en&nrm=iso&tlng=en [Consulta junio 2020]

SCIELO.SLD. Particularidades de la medición de presión sonora [en línea]
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442011000100005
 [Consulta mayo 2020]

Manual MAN 23/30H

Telediagnose-14_generator

Seminario de análisis de falla