

CMC MÉXICO 2026



Sesión **TOOLBOX**

1



TOOLBOX SESIÓN 11



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
M É X I C O

19^a
EDICIÓN



Ingeniería forense

**Investigación de fallas aplicando
el método científico**

Santiago García Garrido

Director Técnico de RENOVETEC

2

ÍNDICE

1. QUÉ ES LA INGENIERÍA FORENSE
2. EL METODO CIENTÍFICO
3. LAS FUENTES DE INFORMACIÓN
4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA
5. LA HIPÓTESIS: EL ARBOL DE FALLO
6. ANÁLISIS DE LA HIPÓTESIS
7. EL INFORME PERICIAL
8. MISCELÁNEOS



3



4

1. QUÉ ES LA INGENIERÍA FORENSE



Definición

Ciencia multidisciplinar que analiza eventos en conjuntos y estructuras diseñadas y fabricadas por el hombre tratando de determinar las causas, consecuencia o estado que presentan dichos conjuntos o estructuras, con una finalidad judicial o prejudicial



1. QUÉ ES LA INGENIERÍA FORENSE

Ciencias en las que se basa

Básicas

FÍSICA
QUÍMICA
TERMODINÁMICA
MATEMÁTICAS
BIOQUÍMICA
BIOLOGÍA

Aplicadas

CIENCIA DE LOS MATERIALES
INFORMÁTICA
ELÉCTRONICA/ELECTRICIDAD
MAGNETISMO
CINEMÁTICA
GENÉTICA
BALÍSTICA
FOTOGRAFÍA

Sociales

PSICOLOGÍA DEL
TESTIMONIO
GRAFOLOGÍA

Otras

MEDICINA FORENSE
INFORMÁTICA FORENSE
FOTOGRAFÍA FORENSE
BIOLOGÍA FORENSE
CONTABILIDAD FORENSE

1. QUÉ ES LA INGENIERÍA FORENSE

Razones para investigar

SITUACIONES:

- Estado que presenta un conjunto
- Vida útil esperada

EVENTOS NO DESEADOS:

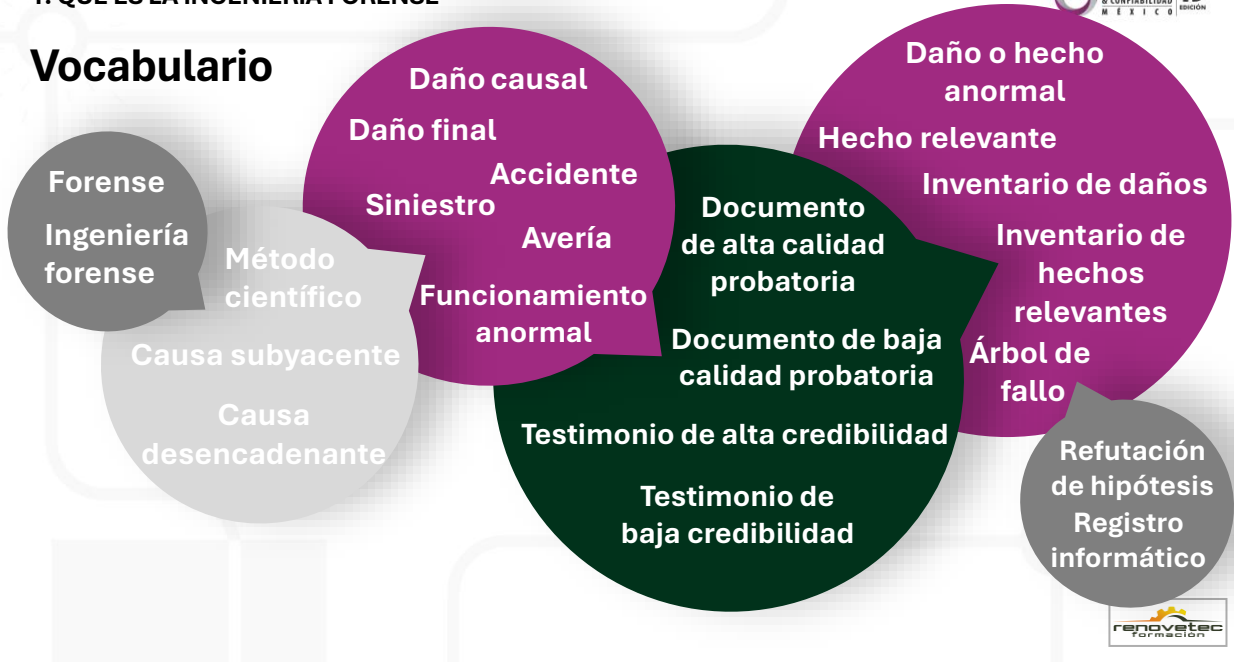
- Accidentes
- Siniestros
- Averías
- Funcionamientos anormales
- Contestación a otro informe

Quién solicita servicios de ingeniería forense

- PROPIETARIOS DE INSTALACIONES
- VÍCTIMAS DE ACCIDENTES
- COMPAÑÍAS DE SEGUROS
- EMPRESAS CONTRATISTAS

1. QUÉ ES LA INGENIERÍA FORENSE

Vocabulario



7

2. EL MÉTODO CIENTÍFICO

En qué consiste

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 19th REGION



8

2. EL MÉTODO CIENTÍFICO

Objetividad: Elimina los juicios personales en la interpretación de datos

Reproducibilidad:
Garantiza que los hallazgos sean fiables

Racionalidad:
Mantiene la coherencia lógica del razonamiento

Refutabilidad:
Permite descartar teorías incorrectas

Empirismo: Ancla las afirmaciones en la observación real

Características fundamentales



9

2. EL MÉTODO CIENTÍFICO

Neutralidad valorativa:
Evita que los valores interfieran en el proceso científico

Sistematicidad:
Integra los conocimientos en teorías organizadas

Tentatividad:
Reconoce que el conocimiento está en constante evolución

Publicidad: Abre el conocimiento al escrutinio y la validación

Predictibilidad:
Permite anticipar fenómenos y validar teorías

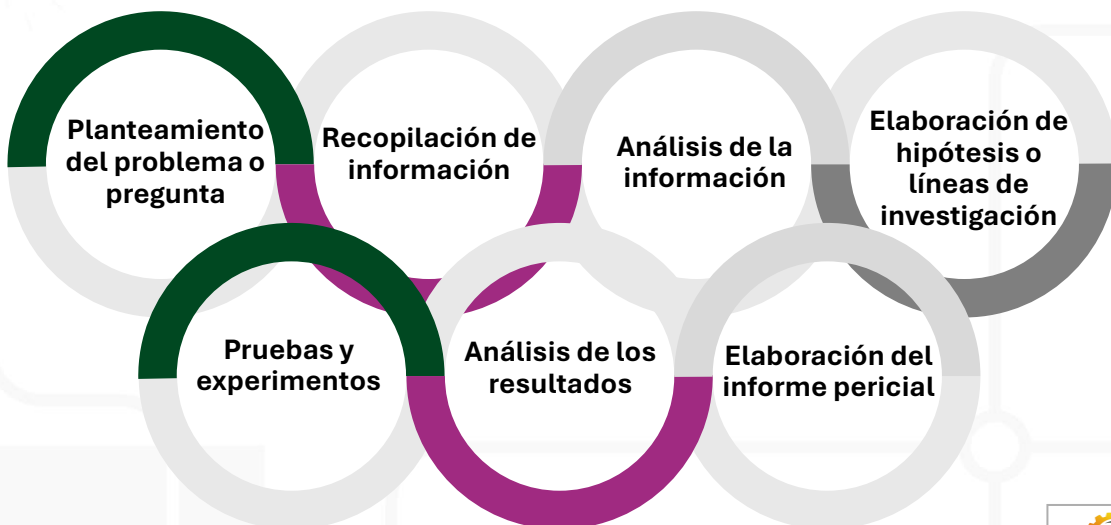
Características fundamentales



10

2. EL MÉTODO CIENTÍFICO

Adaptación del método científico a la investigación forense



11

3. LAS FUENTES DE INFORMACIÓN. TIPOS DE DOCUMENTOS

1 Documentos de proyecto

2 Documentos de montaje

3 Documentos de operación

4 Documentos de mantenimiento

5 Documentos del caso

Conviene construir una lista tipo de documentos a solicitar

12

3. LAS FUENTES DE INFORMACIÓN



Dónde entrevistar

- En planta
- En el despacho de abogados
- En las instalaciones de contratistas y fabricantes
- En cualquier lugar excepto en la oficina del ingeniero forense

Cuándo entrevistar

- Entrevistas de lanzamiento
- Entrevistas en planta durante la investigación
- Entrevistas de cierre del caso (presentación de conclusiones)



13

3. LAS FUENTES DE INFORMACIÓN. EL ANÁLISIS DEL ESCENARIO



• Elementos a analizar

- Piezas y conjuntos que hayan sufrido algún daño
- Piezas y conjuntos con relación al evento analizado
- Disposición de las piezas, elementos y conjuntos tras el incidente

Fotografía y video forense

- Busca fijar o 'congelar' la escena
- Las imágenes se usarán en la fase de planteamiento de hipótesis, prueba y elaboración del informe pericial
- Requiere equipos de gran calidad, para ampliar
- y revisar imágenes con posterioridad



14



- Fuente de información más robusta y fiable
- Pueden modificarse, aunque habitualmente no se modifican
- Aportan indicios probatorios muy sólidos

- Datos almacenados en sistemas de control
- Imágenes y sonidos almacenados en sistemas de vigilancia



4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN



8

5. LA HIPÓTESIS. EL ÁRBOL DE FALLO



17

5. LA HIPÓTESIS. EL ÁRBOL DE FALLO

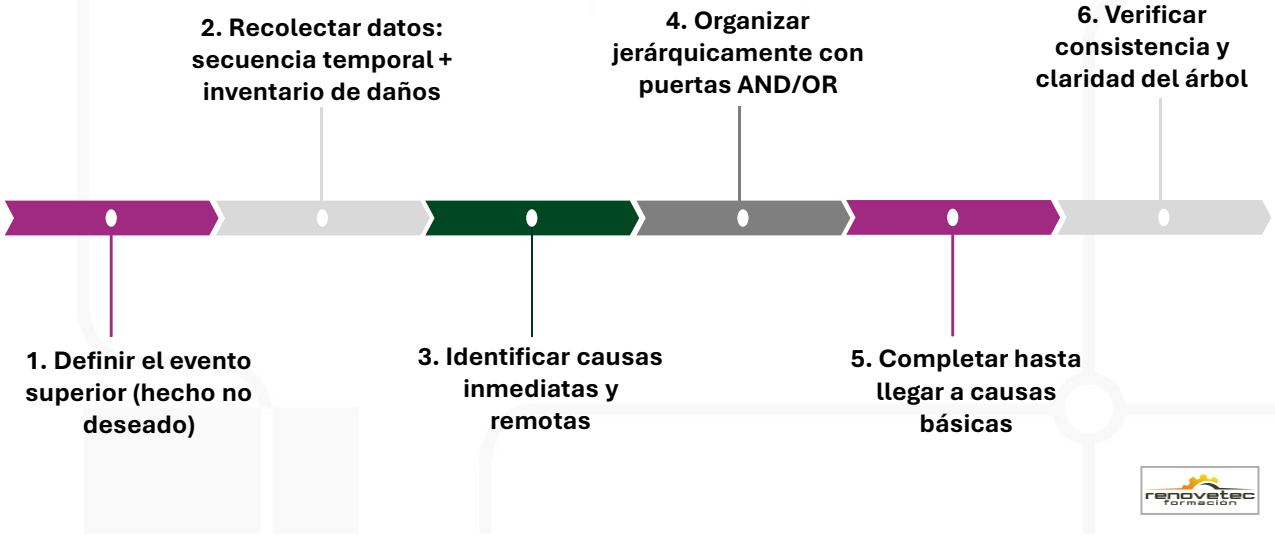
Elementos del Árbol de Fallos



18

5. LA HIPÓTESIS. EL ÁRBOL DE FALLO

Pasos para construir un Árbol de Fallos



19

6. ANÁLISIS DE LA HIPÓTESIS



20

7. EL INFORME PERICIAL



Contenido mínimo del informe pericial

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 0. Resumen ejecutivo | 8. Listado de hechos significativos |
| 1. Objeto del informe | 9. Secuencia temporal |
| 2. Sobre el autor | 10. Hipótesis |
| 3. Declaración previa | 11. Verificación de las hipótesis |
| 4. Antecedentes | 12. Conclusiones |
| 5. Metodología | 13. Recomendaciones |
| 6. Fuentes de información | |
| 7. Inventario de daños o hechos anormales | |



21

7. EL INFORME PERICIAL



Características generales del informe pericial

- Redacción impecable (sin errores ortográficos, tipográficos o gramaticales)
- Todas las abreviaturas deben estar explicadas previamente
- Todas las figuras deben estar numeradas y con pie
- Todas las afirmaciones referidas a un documento deben estar referenciadas
- Toda la información voluminosa debe llevarse a anexos y no al cuerpo del informe
- Todas las fuentes de información documentales, de registros informáticos o fotografías deben estar en un anexo
- El informe va a tener diferentes versiones. Hay que numerarlas
- Durante la vista oral no se puede utilizar ninguna información no contenida en el informe pericial



22

Casos prácticos

23

CASO 1. INCENDIO EN TURBINA DE GAS

DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

Con la turbina funcionando con normalidad, sin ningún parámetro fuera de especificación y con ausencia de alarmas de funcionamiento, se produce la activación del sistema contra incendios. Todos los dispositivos responden correctamente, cerrándose las persianas de los conductos de ventilación e inundando la turbina con gas inerte.

Los técnicos de operación revisan externamente la turbina y la paran para ser revisada al día siguiente, sin observar ningún síntoma extraño. Aproximadamente dos horas y media después, vuelve a activarse la alarma del sistema contra incendios.

Los operarios de planta observan un nuevo incendio de proporciones importantes, tanto en los filtros de admisión como en el propio contenedor. Se avisa a los bomberos que intervienen de inmediato extinguiendo el incendio.

24

Imagen de la turbina incendiada



25

Cod.	Daños y hechos anormales
DA1	Filtros de admisión de aire de combustión quemados
DA2	Salida de ventilación del contenedor con indicios de exposición a alta temperatura
DA3	Ventiladores de extracción de aire destruidos
DA4	Refractario del interior de la chimenea de salida de aire del contenedor fundido
DA5	Plásticos combustibles y sección principal del contenedor destruidos
DA6	Material fundido sobre la turbina
DA7	Junta de expansión de aire de admisión desintegrada
DA8	Persianas de aire de ventilación colapsadas
DA9	Sección reductor del contenedor con restos de combustión
DA10	Manguera de ventilación del cárter de aceite destruida por combustión
DA11	Restos de humo en sección generador del contenedor
HR1	Conducto de entrada de aire de ventilación sin signos de deterioro
HR2	Conducto de entrada de aire de admisión con síntomas externos de combustión
HR3	Activación del sistema contra incendios y reproducción del incendio dos horas y media después
HR4	Ausencia de anomalías tras la activación del sistema contra incendios
HR5	Ausencia de síntomas de participación del sistema de lubricación
HR6	Aparentemente no hay daños internos en la turbina
HR7	No activación de protecciones eléctricas

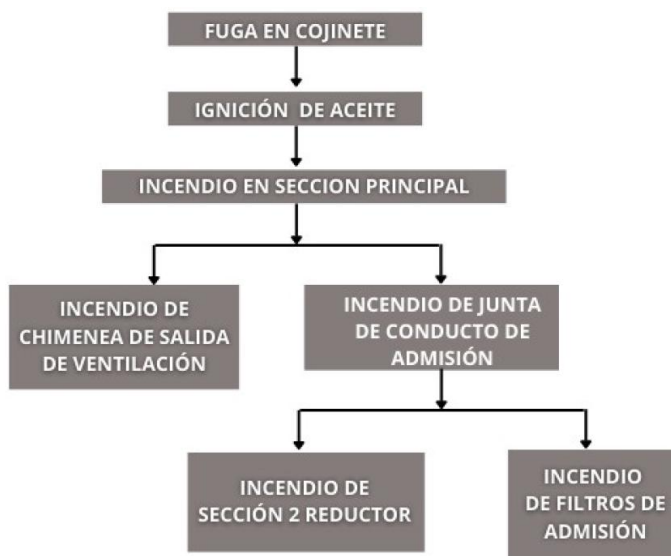
26

Cód.	Hipótesis
H1	Hipótesis 1. Incendio originado en el cojinete trasero de la turbina
H2	Hipótesis 2. Fuga en el sistema de lubricación con deposición de aceite en zona caliente, posible iniciador de la combustión
H3	Hipótesis 3. Incendio originado en el conducto del reductor en la manguera de extracción de aire de venteo del cárter
H4	Hipótesis 4. El incendio se originó en la sección 2 del contenedor que aloja el reductor
H5	Hipótesis 5. El incendio se habría producido en el conducto de aire de ventilación por encima de la persiana que aísla dicho conducto del contenedor

27

Árbol de fallo de la hipótesis 1

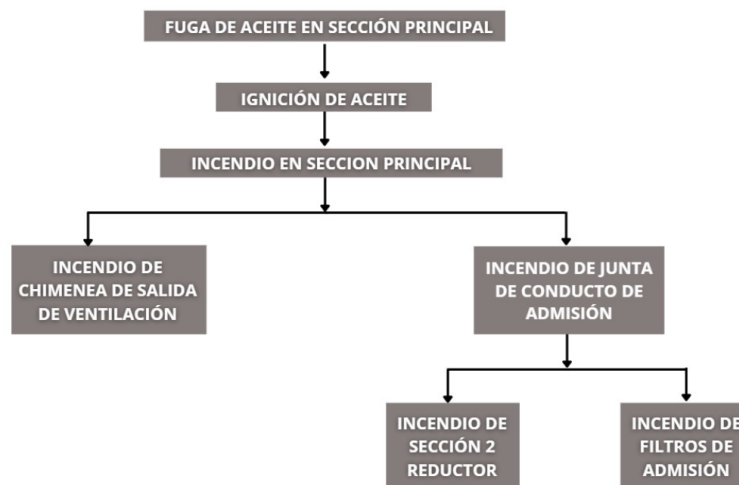
INCENDIO ORIGINADO EN EL COJINETE TRASERO DE LA TURBINA



28

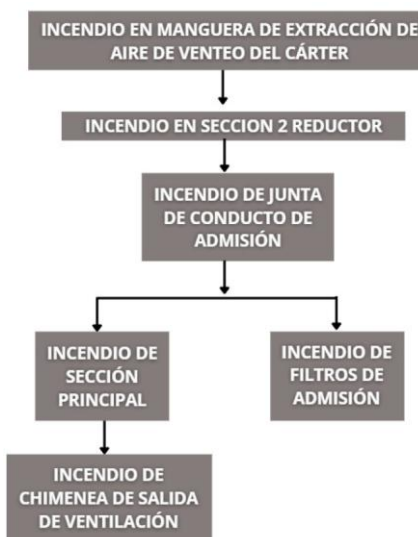
Árbol de fallo de la hipótesis 2

UNA FUGA EN EL SISTEMA DE LUBRICACIÓN HABRÍA DEPOSITADO ACEITE EN ALGÚN PUNTO CALIENTE QUE HABRÍA ACTUADO COMO INICIADOR DE LA COMBUSTIÓN



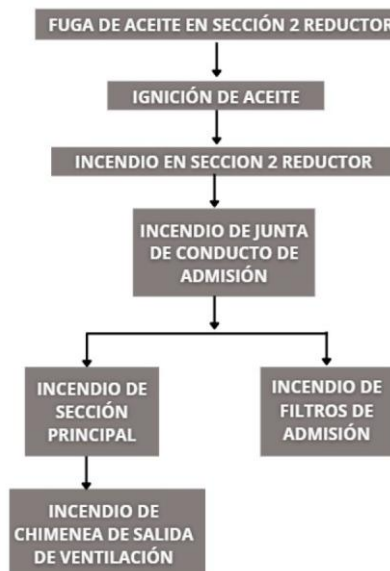
Árbol de fallo de la hipótesis 3

INCENDIO ORIGINADO EN EL CONDUCTO DEL REDUCTOR EN LA MANGUERA DE EXTRACCIÓN DE AIRE DE VENTEO DEL CÁRTER



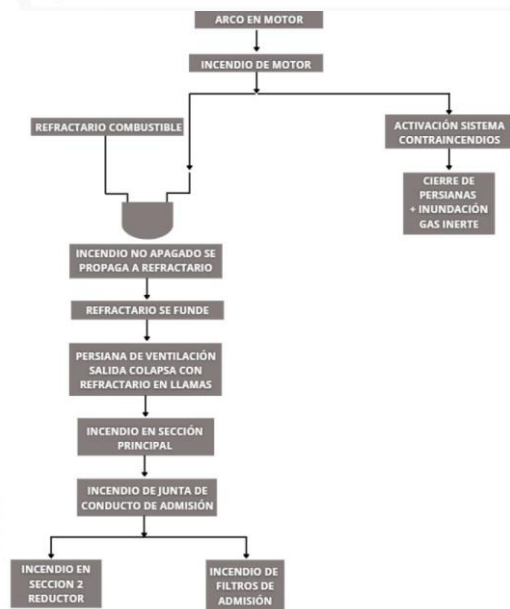
Árbol de fallo de la hipótesis 4

EL INCENDIO SE ORIGINÓ EN LA SECCIÓN 2 DEL CONTENEDOR QUE ALOJA EL REDUCTOR



31

Árbol de fallo de la hipótesis 5



EL INCENDIO SE HABRÍA PRODUCIDO EN EL CONDUCTO DE AIRE DE VENTILACIÓN POR ENCIMA DE LA PERSIANA QUE AÍSLA DICHO CONDUCTO DEL CONTENEDOR

32

Tabla de contraste cruzado

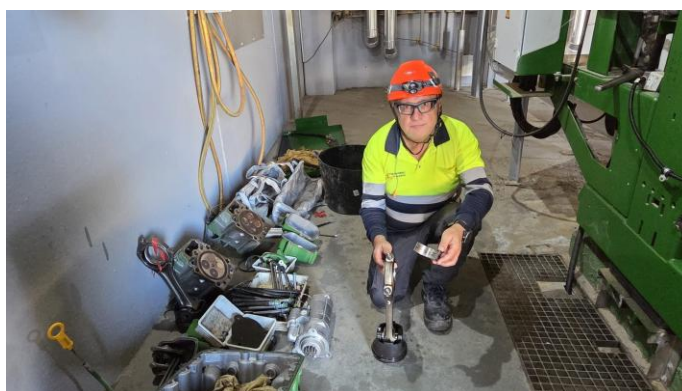
Daños y hechos anormales	H1 (cojinete trasero)	H2 (fuga aceite)	H3 (manguera a extracc.)	H4 (sección 2)	H5 (conducto aire vent.)
DA.1. Filtros de admisión de aire de combustión quemados	-	+	+	+	+
DA.2. Salida de ventilación del contenedor con indicios de exposición a alta temperatura	-	-	-	-	+
DA.3. Ventiladores de extracción de aire destruidos	-	-	-	-	+
DA.4. Refractorio del interior de la chimenea de salida de aire del contenedor fundido	-	-	-	-	+
DA.5. Plásticos combustibles y sección principal del contenedor destruidos	-	+	+	+	+
DA.6. Material fundido sobre la turbina	-	-	-	-	+
DA.7. Junta de expansión de aire de admisión desintegrada	-	+	+	+	+
DA.8. Persianas de aire de ventilación colapsadas	-	-	-	-	+
DA.9. Sección reductor del contenedor con restos de combustión	-	+	+	+	+
DA.10. Manguera de ventilación del cárter de aceite destruida por combustión	-	+	+	+	+
DA.11. Restos de humo en sección generador del contenedor	-	+	+	+	+
HR.1. Conducto de entrada de aire de ventilación sin signos de deterioro	-	+	+	+	+
HR.2. Conducto de entrada de aire de admisión con síntomas externos de combustión	-	-	+	+	+
HR.3. Activación del sistema PCI y reproducción del incendio dos horas y media después	-	-	-	-	+
HR.4. Ausencia de anomalías tras la activación del sistema contraincendios	+	-	+	+	+
HR.5. Ausencia de síntomas de participación del sistema de lubricación	+	-	-	-	+
HR.6. Aparentemente no hay daños internos en la turbina	-	0	+	+	+
HR.7. No activación de protecciones eléctricas	0	0	0	0	+
VALORACIÓN GLOBAL	REFUTADA	REFUTADA	REFUTADA	REFUTADA	CONFIRMADA

33

CASO 2: FALLO EN MOTOR DE COGENERACIÓN

DESCRIPCIÓN DEL EVENTO

- A las 13.000 horas, inspección rutinaria: inspección visual, ajuste de válvulas y taqués y cambio de filtros.
- 50 horas después se observa fuga de refrigerante. El SAT del fabricante acude y repara.
- 50 horas después durante un arranque, el motor para por alto nivel de ruido detectado solo más de 150 rpm.
- Daños graves en 4 cilindros



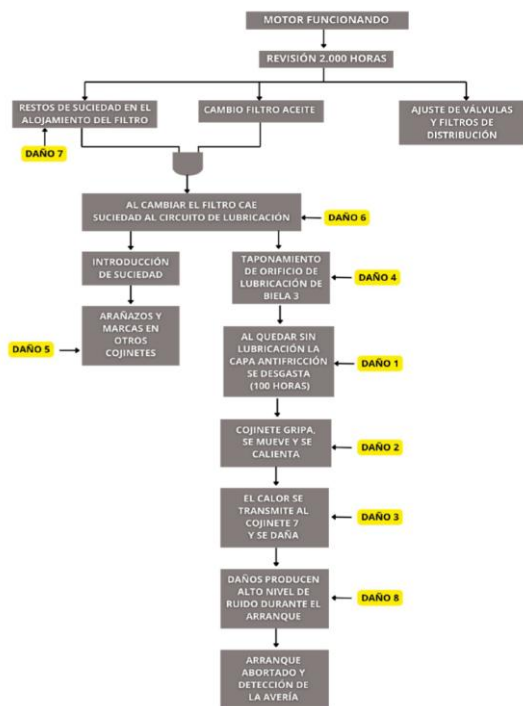
34

Cod.	Daños y hechos anormales
DA1	Cojinete de biela de cilindro 3 dañado, con perdida del material antifricción y rayado del metal soporte
DA2	Desplazamiento del cojinete del cilindro 3, que ha girado sobre su posición normal
DA3	Cojinete de biela de cilindro 7 dañado, con pérdida del material antifricción, sin desplazamiento y sin taponamiento del orificio de entrada de aceite
DA4	Taponamiento del orificio de lubricación del cigüeñal, correspondiente a la biela nº3. Está totalmente obstruido
DA5	Cojinete de biela 8 arañado (scoring)
DA6	Aparición de restos metálicos en filtros y en el aceite de lubricación
DA7	Restos de aceite degradado y restos metálicos en el alojamiento del filtro de aceite lado izquierdo
DA8	Presencia de alarmas por alto nivel de ruido en el alarmero del motor coincidentes con el momento en que se intenta el arranque del motor
HR1	Se produjo una intervención de mantenimiento con cambio de filtro unas 100 horas antes del incidente
HR2	Se produjo una intervención de mantenimiento con sustitución de juntas de culata unas 50 horas antes del incidente
HR3	Aceite en buen estado, solo contaminado con restos metálicos
HR4	Filtro con restos de partículas metálicas

35

Cód.	Hipótesis
H1	Hipótesis 1. Aceite en mal estado
H2	Hipótesis 2. No llega lubricación
H3	Hipótesis 3. El desplazamiento del cojinete de biela N° 3 habria producido taponamiento del orificio de lubricación
H4	Hipótesis 4. Taponamiento del orificio de lubricación de biela N° 3

36



Árbol de fallos

37

Tabla de contraste cruzado

Daños y hechos anormales	H1 (aceite mal estado)	H2 (fallo lubric.)	H3 (desplaz. cojinete)	H4 (tapon.)
DA.1. Cojinete de biela de cilindro 3 dañado, con pérdida del material antifricción y rayado del metal soporte	+	+	+	+
DA.2. Desplazamiento del cojinete del cilindro 3, que ha girado sobre su posición normal	+	+	+	+
DA.3. Cojinete de biela de cilindro 7 dañado, con pérdida del material antifricción, sin desplazamiento y sin taponamiento	+	+	-	+
DA.4. Taponamiento del orificio de lubricación del cigüeñal, correspondiente a la biela nº3. Está totalmente obstruido	-	-	-	+
DA.5. Cojinete de biela 8 arañado (<i>scoring</i>)	+	+	-	+
DA.6. Aparición de restos metálicos en filtros y en el aceite de lubricación	+	0	-	+
DA.7. Restos de aceite degradado y restos metálicos en el alojamiento del filtro de aceite lado izquierdo	+	-	-	+
DA.8. Presencia de alarmas por alto nivel de ruido en el alarmero del motor coincidentes con el momento en que se intenta el arranque del motor	+	+	+	+
HR.1. Se produjo una intervención de mantenimiento con cambio de filtro unas 100 horas antes del incidente	0	+	0	+
HR.2. Se produjo una intervención de mantenimiento con sustitución de juntas de culata unas 50 horas antes del incidente	0	0	0	0
HR.3. Aceite en buen estado, solo contaminado con restos metálicos	-	0	0	0
HR.4. Filtro con restos de partículas metálicas	+	0	0	+
HR.5. Resto de cojinetes y elementos lubricados en buen estado	-	-	+	+
VALORACIÓN GLOBAL	REFUTADA	REFUTADA	REFUTADA	CONFIRMADA

38

Ejercicios de aplicación

39

EJERCICIO 1. FALLO RODAMIENTO

- **Fallo prematuro de un rodamiento en un ventilador de tiro inducido**
- Un ventilador centrífugo de tiro inducido de una caldera industrial sufre la rotura del rodamiento del lado acoplamiento tras solo 4 meses de servicio, cuando su vida esperada era de varios años. El equipo se había sustituido recientemente en una parada de mantenimiento, en la que también se modernizó el accionamiento del motor. Tras la rotura se abre la investigación y se recogen las evidencias que se presentan en la tabla de la siguiente diapositiva. Las hipótesis barajadas (propuestas por distintos implicados) también se presentan en una tabla en la siguiente diapositiva
- **Tareas:**
 - 1. Completar la tabla de contraste cruzando cada hipótesis (H1–H4) con cada evidencia (E1–E7), indicando si la evidencia es compatible (+), neutra (0) o incompatible (–) respecto de cada hipótesis.
 - 2. Determinar qué hipótesis quedan refutadas y por qué evidencia concreta.

40

Cód.	Evidencia recogida en la investigación
E1	El análisis del rodamiento dañado muestra marcas de paso de corriente eléctrica (<u>fluting</u> o acanaladuras) en la pista interior.
E2	El histórico de vibraciones muestra un nivel normal en el arranque y un crecimiento progresivo desde el segundo mes.
E3	El variador de frecuencia (VFD) que alimenta el motor se instaló en la misma parada, sustituyendo al arranque directo anterior.
E4	El motor no dispone de rodamiento aislado ni de anillo de puesta a tierra del eje.
E5	El informe de montaje indica alineación láser correcta dentro de tolerancia.
E6	El lubricante analizado no presenta contaminación por agua ni partículas externas anómalas.
E7	El par de apriete de los pernos de la bancada figura como verificado y correcto.

Cód.	Hipótesis
H1	(Fabricante del rodamiento) Defecto de fabricación del rodamiento.
H2	(Montador) Desalineación o mal montaje mecánico.
H3	(Perito) Corrientes inducidas por el variador de frecuencia que circulan por el eje y descargan a través del rodamiento.
H4	(Operador) Contaminación del lubricante.

41

Tabla de contraste cruzado

Evidencia	H1 Defecto <u>fabric.</u>	H2 Mal montaje	H3 Corrientes VFD	H4 Lubricante
E1. Marcas de paso de corriente (<u>fluting</u>) en pista interior				
E2. Vibración normal al arranque y creciente desde el 2.º mes				
E3. Variador (VFD) instalado en la misma parada				
E4. Motor sin rodamiento aislado ni puesta a tierra del eje				
E5. Alineación láser correcta dentro de tolerancia				
E6. Lubricante sin contaminación por agua ni partículas				
E7. Par de apriete de la bancada verificado y correcto				
Valoración global				

42

Tabla de contraste cruzado (solución)

Evidencia	H1 Defecto fabric.	H2 Mal montaje	H3 Corrientes VFD	H4 Lubricante
E1. Marcas de paso de corriente (fluting) en pista interior	-	0	+	-
E2. Vibración normal al arranque y creciente desde el 2.º mes	0	0	+	0
E3. Variador (VFD) instalado en la misma parada	0	0	+	0
E4. Motor sin rodamiento aislado ni puesta a tierra del eje	0	0	+	0
E5. Alineación láser correcta dentro de tolerancia	0	-	0	0
E6. Lubricante sin contaminación por agua ni partículas	0	0	0	-
E7. Par de apriete de la bancada verificado y correcto	0	-	0	0
Valoración global	REFUTADA	REFUTADA	CONFIRMADA	REFUTADA

SESIÓN 11

ESCANEA EL
CÓDIGO QR



RESPONDE UNA
BREVE ENCUESTA



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
M É X I C O 19^a
EDICIÓN

¡GRACIAS!

Santiago García Garrido

santiago@renovetec.com