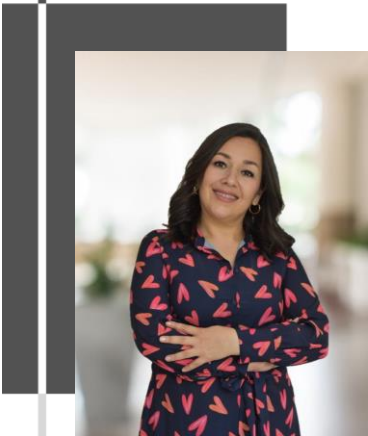




1



# FMECA

## Motor eléctrico

**Pilar Valderrama**  
Conscious Reliability  
Instructor

2

## Propósito de la sesión

- Entender los pasos de un Buen y completo FMECA
- Fundamental para:
  - RCM
  - Asegurar PMs adecuados
  - Asegurar datos confiables
  - La adecuada gestión de activos
  - Entender por qué debo mantener mis activos
- Análisis ejemplo
- Invitación a continuar investigando y haciendo FMECAS

3

## Propósito de la sesión

- Vamos a realizar un FMECA basado en los principios de RCM
- Objetivo: entender las fallas y los efectos y consecuencias de las mismas
- Responder 5 de las 7 preguntas de RCM



Fuente imagen: <https://www.freepik.com/>

4

## FMECA – AMEF

### Failure Mode Effect and Criticality Analysis

- Análisis de Modos, Efectos y Criticidad de Falla
- Evalúa el nivel de riesgo para su equipo o sistema y califica la falla en función de ese nivel de riesgo.
- El ejército de los EE.UU. inventó esta técnica de análisis FMECA en los años 40 (Mil-Std 1629A)
- Base fundamental para el RCM, responde a 5 de las 7 preguntas según la SAE JA1011
- Parte fundamental de la Norzok Z008

5

## FMECA – AMEF

### Failure Mode Effect and Criticality Analysis

- FMECA es un proceso de base cero que se utiliza para identificar los **efectos y criticidad de fallas** en su contexto operacional
- Identificamos que pasa si **no se hace nada** para mitigar o controlar efectos de fallas

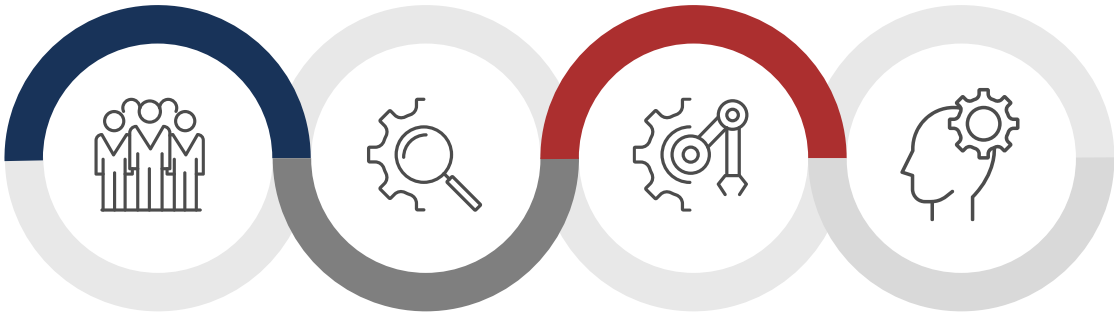


6

# FMECA PASOS

7

## Pasos clave del FMECA



Planeación  
definir **equipos**  
de trabajo –  
facilitador

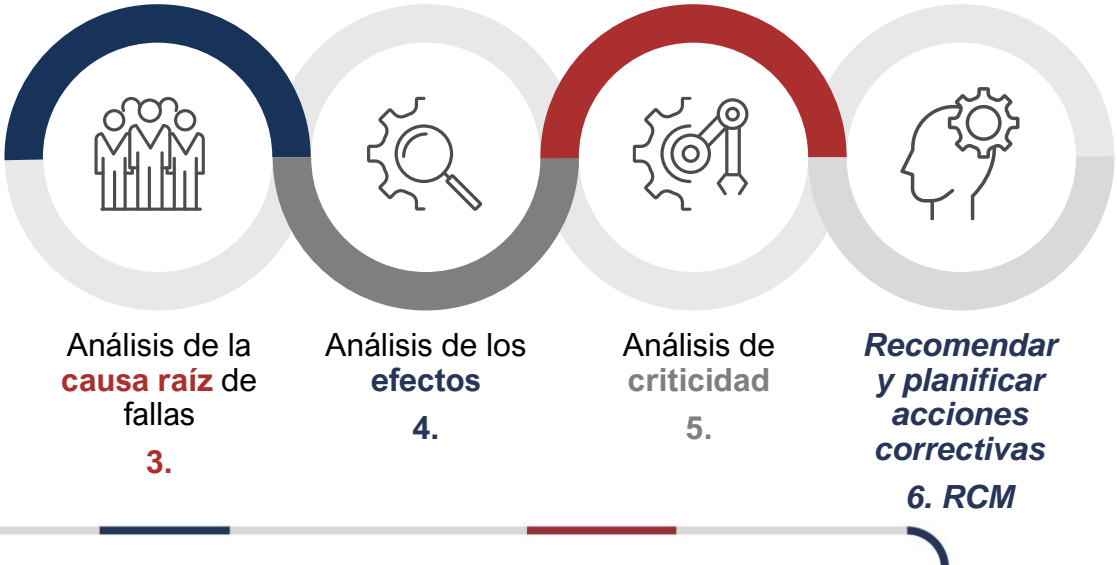
Contexto  
operacional y  
**alcance del**  
**sistema**

Identificar  
funciones y  
subfunciones  
1.

Identificación  
del **modo de**  
**falla**  
2.

8

# Pasos clave del FMECA



9

# Pasos clave del FMECA

- Documentación e informes: documente **los hallazgos** y comunique los resultados.
- Revisión y **actualización**



Fuente imagen: [https://www.freepik.com/free-photo/businesspeople-working-finance-accounting-analyze-financi\\_16068554.htm#fromView=search&page=1&position=52&uuiid=3de1362e-b3f4-4bad-8a07-a27d77b443d3](https://www.freepik.com/free-photo/businesspeople-working-finance-accounting-analyze-financi_16068554.htm#fromView=search&page=1&position=52&uuiid=3de1362e-b3f4-4bad-8a07-a27d77b443d3)

10

# FMECA EJEMPLO

11

## Planeación Facilitador

- **Conocedor** de la metodología
- **Acelerador** del análisis
- **Gestor** de tiempo y conocimiento para la toma de decisiones
- **Entrenar** facilitadores internos / apoyo externo



Fuente imagen: [https://www.freepik.com/free-photo/supervisor-manager-male-engineer-worker-wears-uniform-working-hand-use-laptop-stock-checking-store-warehouse-shipping-industrial-team-with-safety-uniform-checking-quantity-product-shelf\\_25118132.htm#fromView=search&page=1&position=37&uaid=f47990e0-cecf-44f5-a149-93ac90a91453](https://www.freepik.com/free-photo/supervisor-manager-male-engineer-worker-wears-uniform-working-hand-use-laptop-stock-checking-store-warehouse-shipping-industrial-team-with-safety-uniform-checking-quantity-product-shelf_25118132.htm#fromView=search&page=1&position=37&uaid=f47990e0-cecf-44f5-a149-93ac90a91453)>Image by Lifestylememory on Freepik</a>

12

# Planeación Equipo de trabajo

- Operaciones
- HSEQ
- Ingeniería / Proyectos
- Mantenimiento
- Finanzas
- Recursos Humanos
- Compras
- Almacén



Fuente Imagen: [https://www.freepik.com/free-photo/group-workers-having-meeting-with-company-managers-factory-focus-is-female-worker-is-presenting-development-reports\\_25856086.htm#fromfromView=image\\_search\\_similar&page=1&position=3&uclid=da9f2c3d-ee5-43f3-a733-aea6368a59b2->image](https://www.freepik.com/free-photo/group-workers-having-meeting-with-company-managers-factory-focus-is-female-worker-is-presenting-development-reports_25856086.htm#fromfromView=image_search_similar&page=1&position=3&uclid=da9f2c3d-ee5-43f3-a733-aea6368a59b2->image) by Drazen Zigic on Freepik

13

# Contexto operacional



Fuente imagen: <https://www.grupotak.com/en/project/bucket-wheel-stacker-reclaimers-for-coal-and-coke/>



Fuente imágenes: <https://www.freepik.com/>



14

## Contexto operacional

- Una declaración delineando el ambiente en el que se pretende operar un activo
- Una descripción general de cómo y dónde va a operar el activo\*

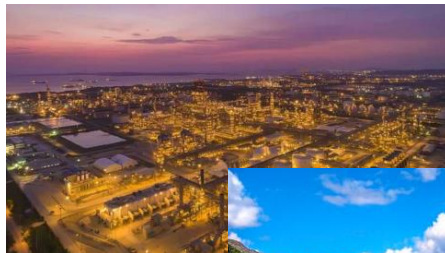


\*Fuente datos: RCM-R <https://consciousreliability.com/>

15

## Contexto operacional

- Planta de producción cerca al mar
- Mejoramiento de disponibilidad
- Temperatura ambiente promedio 26 – 31°C\*
- Humedad promedio 77% – 83%\*



\*Fuente datos: <https://es.weatherspark.com/y/22604/Clima-promedio-en-Cartagena-de-Indias-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o> & <https://observatorio.epacartagena.gov.co/gestion-ambiental/calidad-ambiental/sistema-urbano/humedad-relativa-promedio>

Fuente imagen: <https://www.semana.com/pais/articulo/la-industria-petroquimica-desarrollo-economico-cartagena/217178/>

16



# Contexto operacional

- Producción 24/7
- Tres turnos diarios de O&M
- Cercanía a proveedores de repuestos
- Motores eléctricos iguales
- Todo lo producido sale, baja capacidad de almacenamiento



Fuente imagen: <https://www.semana.com/pais/articulo/la-industria-petroquimica-desarrollo-economico-cartagena/217178/>

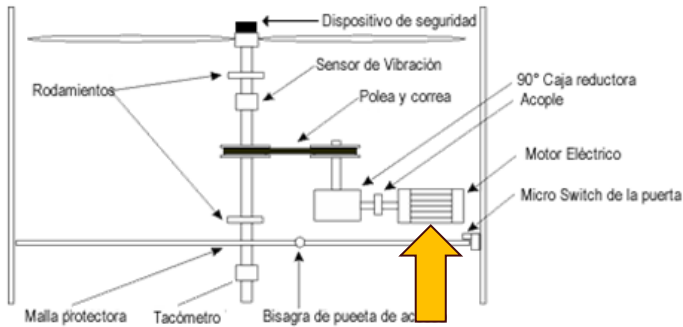
17

## Quiz 1- Falso o Verdadero

- ¿El FMECA nació en los años 40 y hoy sigue vigente?
- ¿El FMECA podría ser la base para cumplir con un RCM?
- ¿Equipos de trabajo multidisciplinarios son clave para el éxito del FMECA?
- ¿El contexto operacional NO debe ser descrito y entendido para dar inicio al ejercicio?

18

## Definición y alcance del sistema

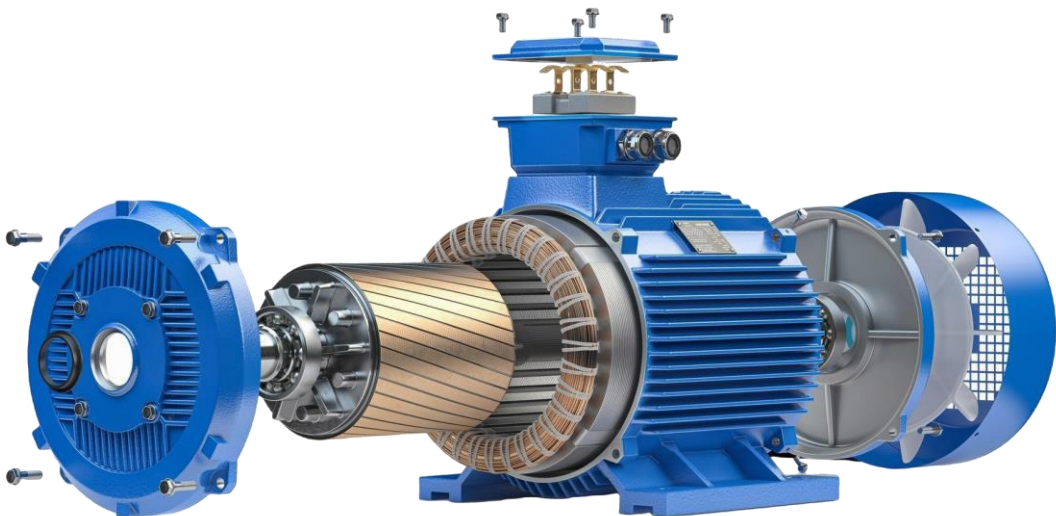


- **30 ventiladores** para sistemas de enfriamiento independientes
- **15 Fallas** en los motores eléctricos durante los últimos **9 meses**
- Costos de fallas **U\$ 405,000**
- Una hora de producción **U\$4,000**

Ejemplo de un sistema

19

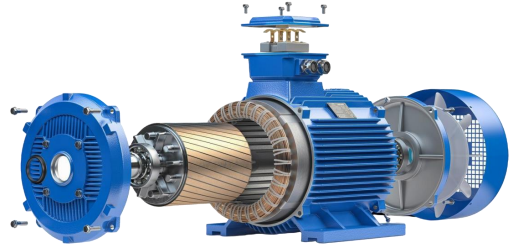
## Definición y alcance del sistema



20

## Funciones

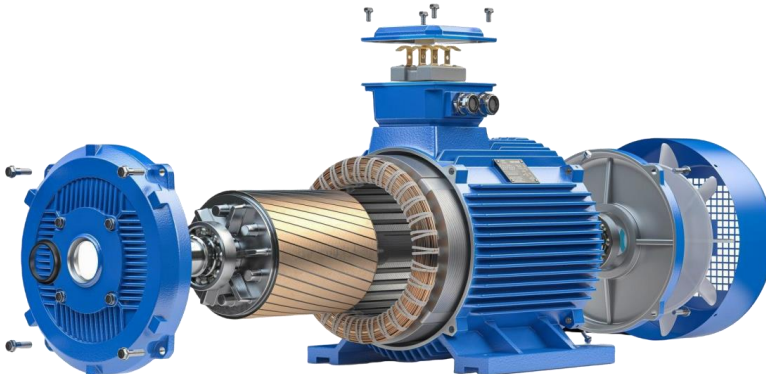
- ✓ Cada equipo debió ser adquirido para un **fin determinado**.
- ✓ ¿Qué **necesita** la operación del activo?
- ✓ Debe tener una **función** o funciones **específicas**.
- ✓ La **pérdida total o parcial** de estas funciones **impacta** en cierto grado a la **organización**.



21

## Identificar funciones y subfunciones

Verbo + objeto + nivel de desempeño (parámetros cuantitativos de ser posible)

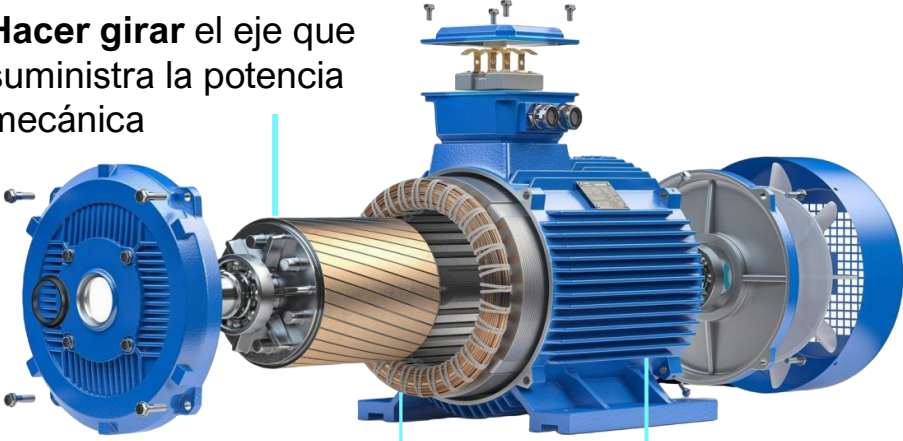


**Transformar** la energía eléctrica en mecánica y transferir a la caja reductora entre 300 a 320 rpm

22

# Identificar funciones y subfunciones

**Hacer girar** el eje que suministra la potencia mecánica



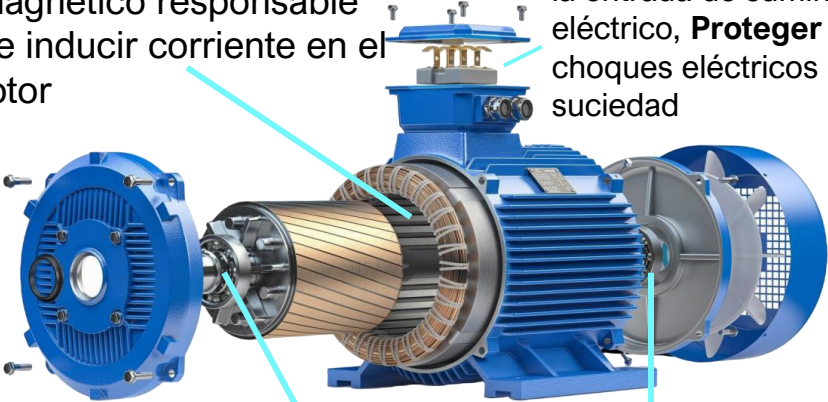
**Proteger / Apagar** el motor en caso de sobre T°

**Contener** los componentes internos y **proteger** de suciedad

# Identificar funciones y subfunciones

**Generar** el campo magnético responsable de inducir corriente en el rotor

**Alojar** los conectores y cables para la entrada de suministro eléctrico, **Proteger** para evitar choques eléctricos o entrada de suciedad

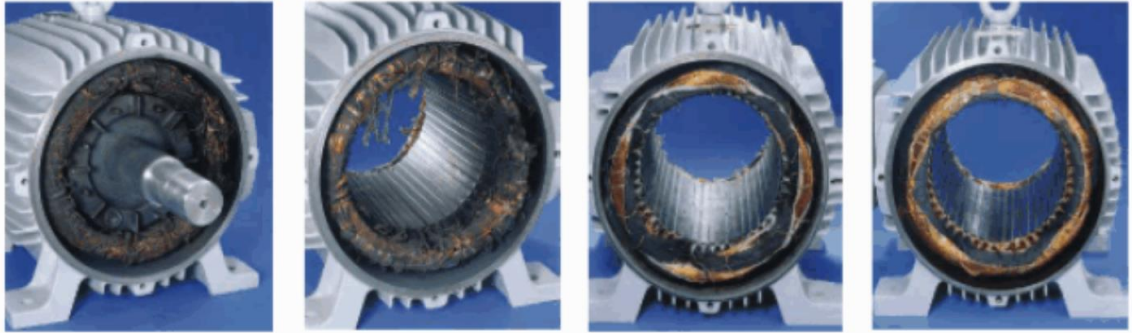


**Apoyar** al rotor y **permitir** su giro sobre el eje

Fuente: <https://traction.com/es/blog/como-funcionan-los-motores-electricos>

# Identificación del modo de falla

Evento a través del cual se manifiesta una falla funcional



25

## Identificación del modo de falla

¿Dejo de cumplir su función?

### Modos de falla Eventos que:

- ✓ Han ocurrido
- ✓ Es probable que ocurran en el contexto operacional actual
- ✓ Son atendidos por el programa actual de mantenimiento
- ✓ Representan riesgos potenciales – peor escenario

Fuente: Análisis de modos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

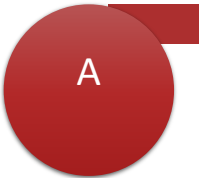
26

# Modo de falla (Mecanismo) Evidentes y Ocultas

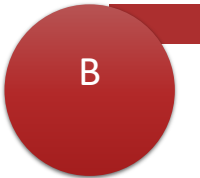
## Evidentes

- Es aquella falla que inevitablemente **se hará evidente por sí sola** a los operadores en circunstancias normales

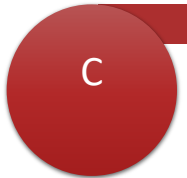
Única



En Servicio



Stand - by



# Modo de falla (Mecanismo) Evidentes y Ocultas

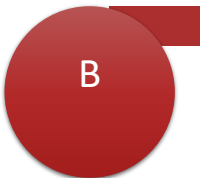
## Ocultas (Protecciones)

- Una falla oculta es una falla funcional que **no es evidente por sí misma** al equipo operativo bajo circunstancias normales de operación.

Única



En Servicio



Stand - by

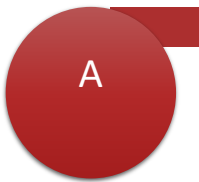


# Modo de falla (Mecanismo) Evidentes y Ocultas

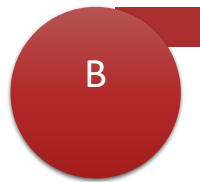
## Preguntas Clave para identificar fallas ocultas

- ¿Es necesario que falle otro equipo para que se evidencie este modo de falla?
- ¿Las fallas son independientes?

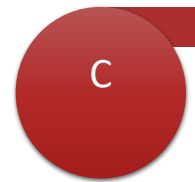
Única



En Servicio



Stand - by



29

## Identificación del modo de falla

¿Dejo de cumplir su  
función?

### Motor

**No transforma** la energía eléctrica en mecánica y **No transfiere** a la caja reductora entre 300 a 320 rpm

### Carcaza

**No Contiene** los componentes internos y **No protege** de suciedad

### Rotor

**Pérdida de velocidad** el eje que suministra la potencia mecánica

30

# Identificación del modo de falla

¿Dejo de cumplir su función?

## Caja de conexiones

**Corto de** los conectores y cables para la entrada de suministro eléctrico,

**Choques eléctricos**

**Humedad en la caja**

## Rodamientos

**No apoyan** al rotor y **No permite** su giro sobre el eje

## Termostato

**No apaga** el motor en caso de sobre temperaturas

31

## Quiz 2- Falso o Verdadero

- ¿El FMECA debe estar enfocado claramente a un sistema?
- ¿Las funciones de un activo son lo que mantenimiento quiere que haga el activo?
- ¿Las fallas ocultas NO son fácilmente de detectar por el operador en circunstancias normales de operación?
- ¿Fallas son pérdida de función de un activo, parcial o total?

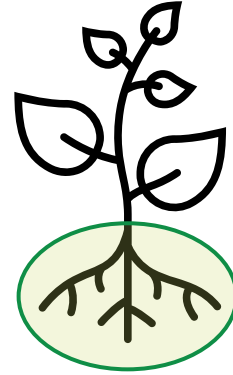
32



# Análisis de la causa raíz de fallas

¿Por qué dejo de cumplir su función?

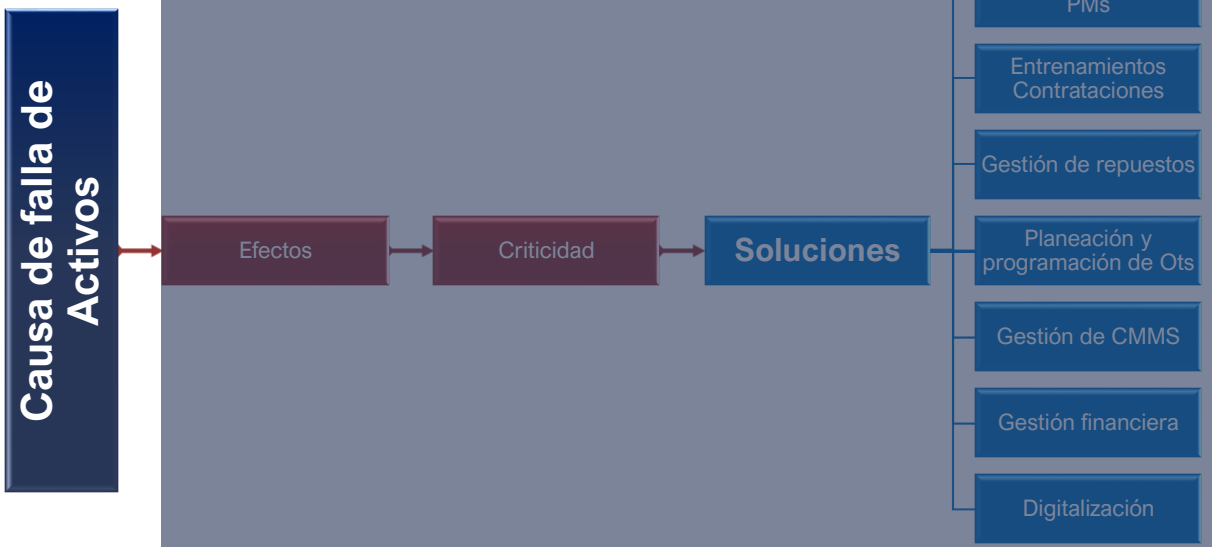
- ✓ Kidlin es un personaje ficticio de una novela escrita por James Clavell.
- ✓ Regla o ley de Kidlin: *"If you write a problem in clear and specific steps, you actually have half solved it."*



33

# Análisis de la causa raíz de fallas

## Base fundamental



34

## Análisis de la causa raíz de fallas

¿Por qué dejó de cumplir su función?

### Condiciones para este análisis

- Se analizan las fallas físicas
- Se analizan los errores humanos
- Se analizan los errores de diseño
- NO se hace mantenimiento, de esta forma, vamos a poder justificarlo más adelante
- **“Diagnóstico” no formal de gestión de mantenimiento y repuestos**

35

## Análisis de la causa raíz de fallas

¿Por qué dejó de cumplir su función?

### Motor

Fallas de los componentes por operación normal y/o vida útil

### Carcaza

Roturas, fisuras, oxidación por operación normal y afectación climática, por mala instalación, por uso de repuesto inadecuado

### Rotor

Desajuste de barras, desgaste de laminado, fatiga por operación normal, por mala instalación, por uso de repuesto inadecuado

36

## Análisis de la causa raíz de fallas

¿Por qué dejó de cumplir su función?

### Caja de conexiones

Oxidación de tornillos, roturas, fisuras, oxidación por operación normal y medio ambiente

### Rodamientos

Roturas, fisuras, degradación de lubricante, por vida útil, por mala instalación, por uso de repuesto inadecuado

### Termostato

Descalibración, desajuste por operación normal del equipo, por vida útil, por mala instalación, por uso de repuesto inadecuado

37

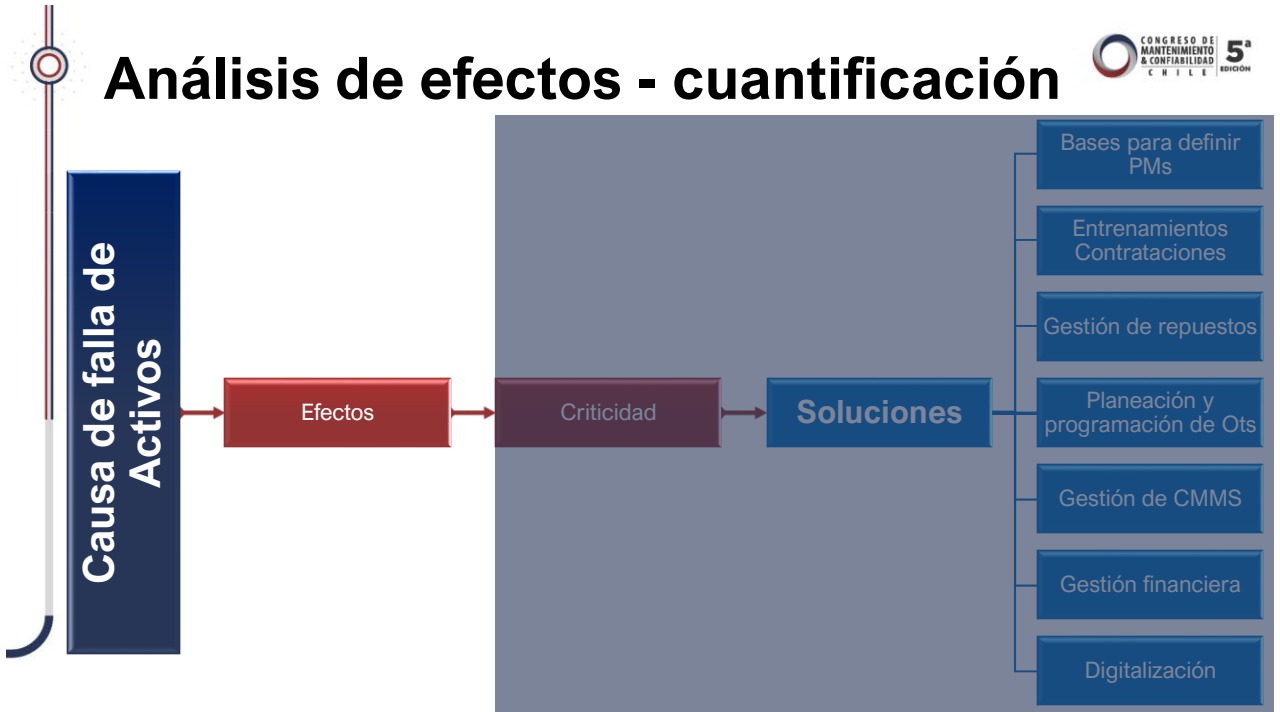
## Análisis de los efectos de falla

Se debe describir paso a paso lo que sucede al producirse cada falla.



38

# Análisis de efectos - cuantificación



39

## Análisis de los efectos

¿Qué pasa cuando se presenta una falla?

Los efectos de falla **CUANTIFICAN** el impacto que las *Causas Raíz* tendrían sobre el negocio en caso de que ocurran

- **NO se hace mantenimiento**
- Se analiza toda la **cadena de efectos** generados por una falla
- Se llega hasta la **última consecuencia**
- Preguntas guía de **RCM-R**

**Bases para identificar y medir la criticidad de las fallas**

40

## P1 - ¿Cómo se detecta el modo de falla?

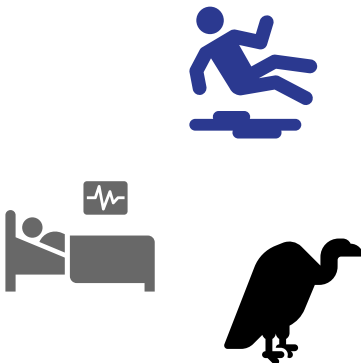


- A. Mediante los sentidos
- B. Por Alarma
- C. Operador
- D. Especialista Interno
- E. Especialista Externo

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

41

## P2 - ¿Cómo se afecta la seguridad?



- A. Sin Impacto
- B. Impacto menor
- C. Impacto moderado
- D. Impacto severo
- E. Impacto catastrófico

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

42

## P3 - ¿Cómo se afecta el medio ambiente?



- A. Sin Impacto
- B. Impacto menor
- C. Impacto moderado
- D. Impacto severo
- E. Impacto catastrófico

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

43

## P4- ¿Cómo se afecta la producción?



- A. No se afecta
- B. Pérdida menor
- C. Pérdida moderada
- D. Pérdida sobre límites aceptables
- E. Paro extenso de producción

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

44

## P5- ¿Qué daño físico causa la falla? ¿qué tan costosa es la reparación?



- A. Sin costo
- B. Bajo costo
- C. Costo moderado
- D. Costo Alto
- E. Costo MUY alto

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

45

## P6- ¿Hay un daño secundario? ¿Qué debe hacerse para restaurar? ¿Cuánto tiempo tardará?

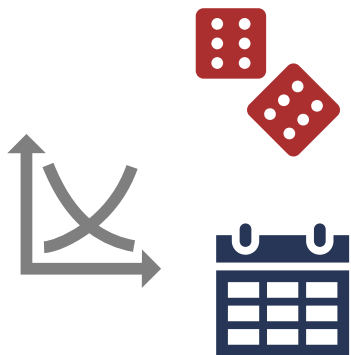


- A. No hay daños secundarios
- B. Aumento de los costos operativos
- C. Daño moderado
- D. Daño severo
- E. Daño catastrófico

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>

46

## P7- ¿Qué probabilidad de ocurrencia tiene cada \*MF? ¿Ha ocurrido antes?



- A. Sin eventos conocidos
- B. Se sabe que ocurre en la industria
- C. Ha ocurrido en la planta
- D. Ocurre 1 vez por año
- E. Ocurre varias veces al año

Fuente: Preguntas guía para análisis de efectos de falla de la metodología RCM-R® <https://consciousreliability.com/>  
MF: Modo de Falla

47

## Análisis de los efectos

¿Qué pasa cuando se presenta una falla?

### Motor – falla total de rodamiento

- ✓ Los rodamientos se desgastan por vida útil
- ✓ El motor se sobre calienta
- ✓ **El termostato no para el motor**
- ✓ Presenta vibración alta
- ✓ Genera desgaste a rotor, estator, eje
- ✓ El motor para y no transmite las RPM necesarias a la caja reductora
- ✓ Causando la desaceleración del ventilador
- ✓ El tacómetro activa una alarma en el cuarto de control si la velocidad baja de 200rpm

48



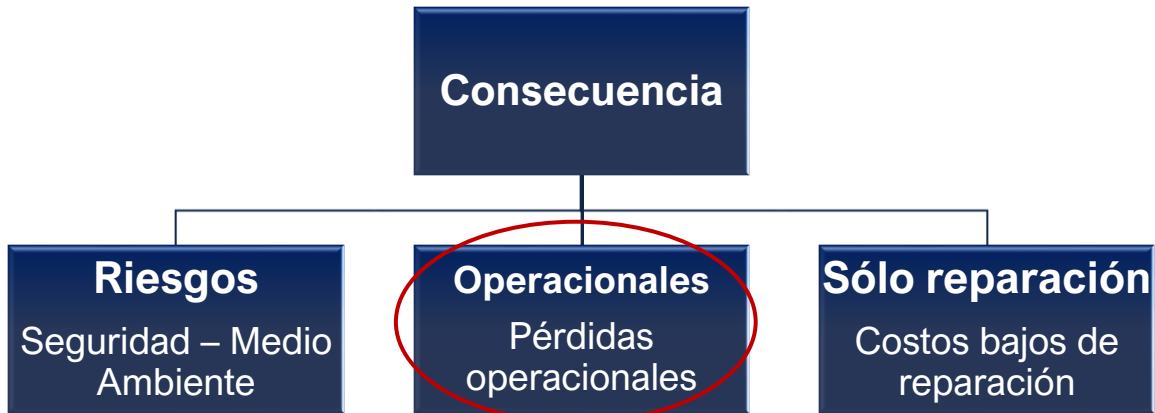
# Análisis de los efectos

¿Qué pasa cuando se presenta una falla?

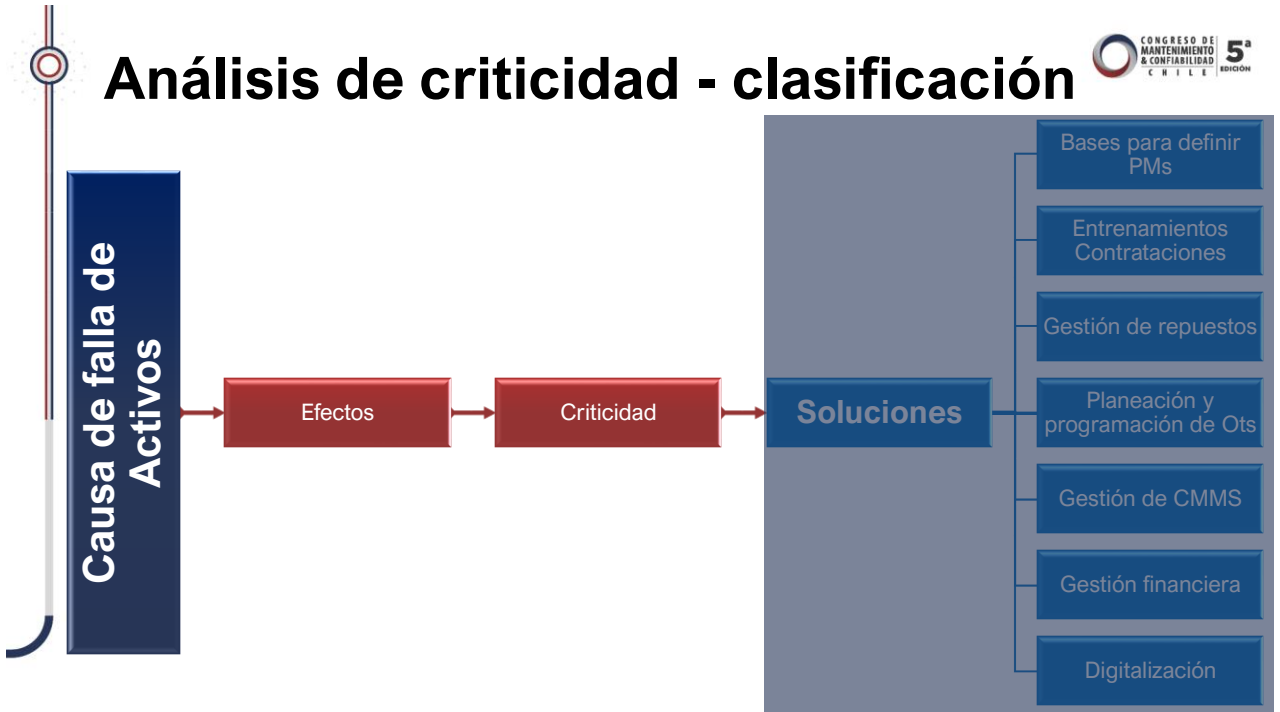
## Motor – falla total de rodamiento

- ✓ El ventilador se detiene
- ✓ Operaciones contacta a mantenimiento
- ✓ La respuesta puede tomar aprox. **2 horas**
- ✓ Asumimos un paro de producción en la línea de **4 horas**
- ✓ Costos estimados por pérdida de producción **U\$ 16,000**
- ✓ Costos de horas extras por trabajo de mto reactivo **U\$ 1,000**
- ✓ Reemplazo del motor **U\$ 10,000**
- ✓ Costo total estimado: **U\$ 27,000**

# Análisis de los efectos



## Análisis de criticidad - clasificación



51

## Análisis de criticidad

Impacto que produce cada modo de falla en el negocio.

- ✓ Personas
- ✓ Procesos
- ✓ Medio ambiente.
- ✓ Pérdidas de producción \$\$\$
- ✓ Solo costos de reparar



52

# Análisis de criticidad\*

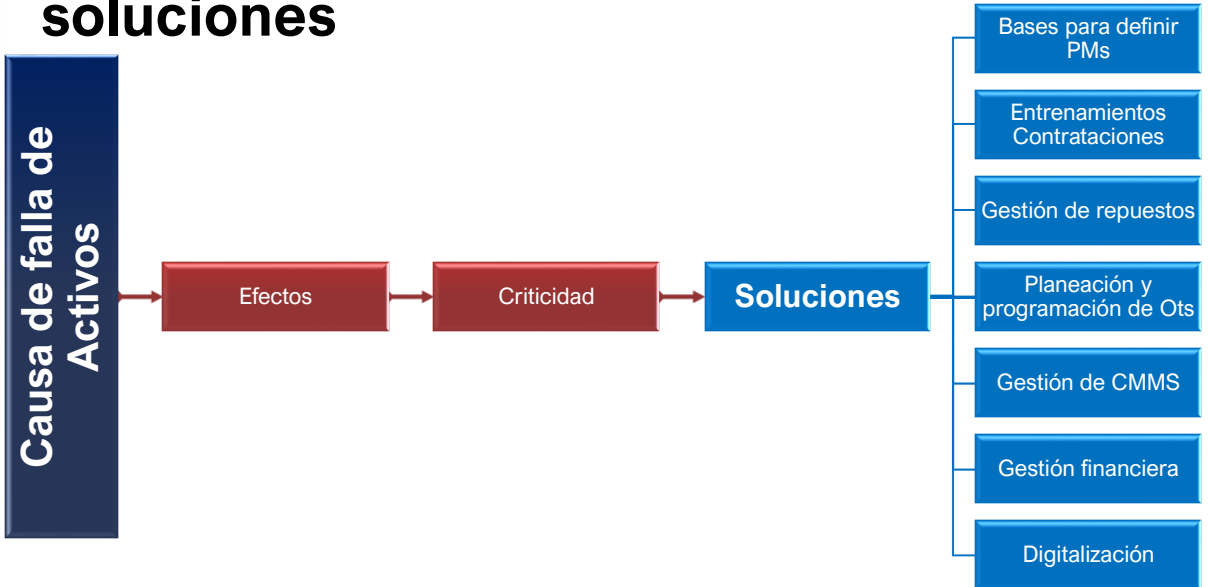
- **15 Fallas** en los motores eléctricos durante los últimos **9 meses**
- Costos de fallas **U\$ 325,000**

		Probabilidad				
		Frecuente <small>Una vez al mes</small>	Probable <small>Una vez cada 6 meses</small>	Ocasional <small>Una vez cada año</small>	Remoto <small>Una vez cada 18 meses</small>	Improbable <small>Una vez cada 3 años</small>
Impacto	Catastrófico <small>Fatalidad o incapacidad permanente Afectación ambiental Daños &gt;\$1M, Parada &gt;5 días</small>	Alto	Alto	Alto	Medio	Aceptado
	Crítico <small>Múltiples heridos Afectación ambiental Daños &gt;\$100K y &lt;\$1M, Parada &gt;2 días y &lt;5 días</small>	Alto	Alto	Medio	Bajo	Aceptado
	Moderado <small>Incidentes Daños &gt;\$10K y &lt;\$100K Parada &gt;12 horas y &lt;2 días</small>	Medio	Medio	Bajo	Aceptado	Aceptado
	Menor <small>Daños &lt;\$10K Parada &gt;4 horas y &lt;12 horas</small>	Bajo	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

\*Matriz de ejemplo, cada organización define sus parámetros de criticidad

53

# Claridad para recomendar soluciones



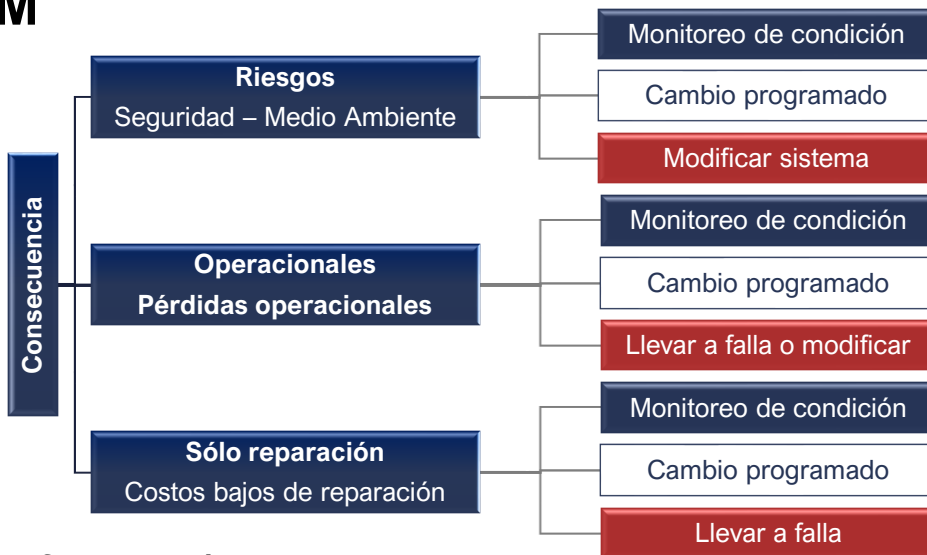
54

### Quiz 3- Falso o Verdadero

- ¿El entendimiento de la causa raíz de las fallas es clave?
- ¿Es importante describir cada detalle del efecto de la falla para poder cuantificar?
- ¿La criticidad de las fallas es estándar para todas las industrias?
- ¿Entendiendo el problema, sus efectos y consecuencias estoy listo para proponer soluciones?

55

## Recomendar acciones correctivas RCM



✓ Costo efectiva y técnicamente viable

56

## Documentación e informes: documente los hallazgos y comunique los resultados.

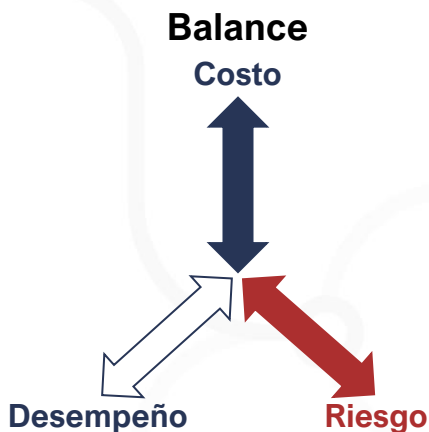
Todos debemos entender el resultado

- Se documentan hallazgos de:
  - Errores humanos
  - Errores de proceso
  - Errores en suministro de energía
  - Errores en procedimientos
- Diagnóstico de gestión de mantenimiento y repuestos
- **Se planean acciones para las oportunidades de mejora**

57

## Fundamentos para la adecuada Gestión de Activos

*“Actividad coordinada de una organización para obtener **Valor** a través de sus activos”*



- *Impacto de fallas*
- *Puedo diseñar soluciones para mitigar riesgos*

58



Usar los  
resultados

A dark gray slide with a faint, light gray background pattern of interconnected lines and nodes, resembling a network or circuit diagram.

59



Tomar Acción  
¡Actuar!!!

A dark red slide with a faint, light red background pattern of interconnected lines and nodes, resembling a network or circuit diagram.

60



Involucrar a  
áreas clave

61



Todos somos  
parte

62

# Fundamentos para la Gestión de Activos eficiente

63

# Fundamentos para la ruta industria 4.0

64





# iGracias!

**Pilar Valderrama**

[pvalderrama@pdmtechusa.com](mailto:pvalderrama@pdmtechusa.com)