



**TOOLBOX** SESIÓN 19



CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
COLOMBIA

**3<sup>a</sup>**  
EDICIÓN



# Impacto de las Fallas

## Cuantificación de Costos y Riesgos de Paradas

Ing. Ind. Santiago Sotuyo Blanco, CMRP, CRL, AMP-S  
Ingeniero Principal de Confiabilidad – Latino América

**Baker Hughes**

1

### PRESENTACIÓN

### ING. IND. SANTIAGO SOTUYO BLANCO, CMRP, CRL, AMP-S



CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
COLOMBIA

**3<sup>a</sup>**  
EDICIÓN

#### Santiago Sotuyo Blanco

Ingeniero Principal de Confiabilidad – Latino América, BAKER HUGHES

Supervisa el desarrollo de proyectos de Baker Hughes en Latino América, los cuales se centran en ayudar a sus clientes a ser seguros y exitosos, al hacer realidad la confiabilidad.

Es líder en Latino América en la difusión de la Gestión de Estrategias de Activos, un proceso habilitado por personas, tecnología y datos para mantener un enfoque basado en la confiabilidad para mejorar el rendimiento de los activos.

Es Ingeniero Industrial Mecánico (Uruguay)

Es Profesional Certificado CMRP, CRL y AMP-S.

Es Instructor Certificado de ASM, RAMS, RCM, FMECA, LCC, Weibull, RCA.

Especializado en Ingeniería de Mantenimiento (Suecia) e Ingeniería de Confiabilidad (Inglaterra).



**Cordant**

**Baker Hughes**

2

# PRESENTACIÓN

## ING. IND. SANTIAGO SOTUYO BLANCO, CMRP, CRL, AMP-S



### Reconcimientos y Premios:

- **“Ingeniero Destacado 2021”**, por la AIU – Asociación de Ingenieros del Uruguay. Diciembre 2021.
- **“WFEO Distinguished Fellow”**, por la WFEO/FMOI – Federación Mundial de Organizaciones de Ingeniería. Marzo 2022.
- **“Contribución al Mundo del Mantenimiento”**, por el COPIMAN, AMGA y CMC-Latam México. Setiembre 2022.
  - Reconocimientos a sus 37+ años de experiencia laboral y 33+ años como profesional de la ingeniería a nivel internacional.



Cordant



Baker Hughes

3

# Objetivos



Estimar el Impacto de las Fallas y Cuantificar Costos y Riesgos asociados.

- Aprender como analizar todos los Efectos de Falla.
- Ser capaz de Cuantificarlos, tanto para:
  - Impactos Financieros o
  - Riesgo.
- A partir de la Matriz de Riesgo, desarrollar los parámetros utilizables para su uso en softwares de Análisis de Confiabilidad.
- Aplicar todos estos valores cuantificados en:
  - Optimizaciones Costo-Riesgo-Desempeño mediante,
  - Software de Análisis de Confiabilidad con capacidades de optimización por simulación estadística.

Cordant

Baker Hughes

4

# Aprendizajes Clave



- Desarrollar Competencias prácticas para calcular, validar y comunicar:
  - Costo por hora y fijos de parada,
  - Otras pérdidas derivadas de las fallas,
  - Con enfoque replicable, auditable y alineado a la realidad operativa y financiera.
- Aplicar modelo de análisis y cálculo para Activos o Sistemas, por capas que integran los componentes que más impactan:
  - Pérdida de producción (Lucro cesante o Margen de contribución),
  - Restricciones de capacidad y cuellos de botella,
  - Costos de arranque y recuperación (ramp-up),
  - Calidad/retrabajo y consumos variables relevantes.

Cordant



5

## UNA FALLA IMPACTA TODO EL PROCESO

### IMPACTO FINANCIERO Y EN PRODUCCIÓN

#### PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN

Paradas no programadas  
Menor productividad  
Incumplimiento de entregas

#### SOBRECOSTOS DIRECTOS

Reparaciones de urgencia  
Horas extras  
Servicios externos

#### SOBRECOSTOS INDIRECTOS

Mayor consumo de energía  
Pérdida de eficiencia  
Impacto en la calidad y reputación

#### RESULTADO: MENOR RENTABILIDAD

### IMPACTO EN RIESGOS SEGURIDAD, MEDIO AMBIENTE Y OPERACIONAL

#### SEGURIDAD DE LAS PERSONAS

Lesiones o fatalidades  
Daño a la salud  
Impacto moral y legal

#### MEDIO AMBIENTE

Quemaduras y emisiones  
Contaminación  
Fugas y derrames  
Daños a la reputación

#### RIESGO OPERACIONAL

Paradas en cadena  
Alteración en los espacios  
Pérdida de confiabilidad del proceso

#### RESULTADO: PERSONAS, AMBIENTE Y OPERACIÓN EN RIESGO

**PREVENIR FALLAS NO ES UN GASTO, ES PROTEGER EL NEGOCIO.**

# Introducción

# Entendiendo el Impacto de la Falla

Cordant

6

CMC Colombia 2026

3

## Preguntas a la Dirección

CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
COLOMBIA 3<sup>a</sup>  
EDICIÓN



- ¿Cuánto cuestan las fallas?
  - ¿Cuál es el riesgo de las fallas?
  - ¿Cuál es el lucro cesante de la pérdida de producción?
  - ¿Se repiten las fallas con frecuencia?
  - ¿Analizamos las fallas para identificar causas y actuar en consecuencia?
  - ¿Cuál es la confiabilidad y disponibilidad de los equipos?
    - ¿Si evitamos las fallas, cuanto ganamos?
    - ¿Cuál es el premio?

Cordant

Baker Hughes

7

## Vamos a Estimar el Tamaño del Premio

CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
COLOMBIA 3<sup>a</sup>  
EDICIÓN



Cordant

Baker Hughes

8

## Introducción



- Fallas de Activos generan Impactos Económicos y Riesgos.
  - Trascienden la Pérdida de Producción.
  - Afectan Costos, Calidad, Energía, Seguridad, Ambiente, Cumplimiento y Reputación.
- Sin embargo, muchas organizaciones continúan **subestimando o calculando inadecuadamente** el Costo por Hora de Parada.
- Esta debilidad analítica:
  - *Erosiona el Caso de Negocio de la Confiabilidad,*
  - *Distorsiona Prioridades y*
  - *Posterga Decisiones de Inversión y Mitigación de Riesgos.*

Cordant



9

## Introducción



- El enfoque propuesto aborda esta brecha mediante:
  - Desarrollar Competencias críticas:
    - ❖ Cálculo, validación y comunicación de Costos y Riesgos de manera estructurada, replicable y auditable.
    - ❖ Alineada con Operaciones y Finanzas.
  - Integrar los principales componentes que determinan los Impactos Económicos y de Riesgos incluyendo:
    - ❖ Valores por Hora, y
    - ❖ Valores por Ocurrencia (Fijos).

Cordant



10

## Introducción

- El “**aprender haciendo**” permite construir plantillas aplicables a Activos, enfatizando la importancia de:
  - Documentar supuestos,
  - Realizar validaciones y
  - Presentar resultados en lenguaje Operativo y Financiero.
- De este modo,
  - Fortalecemos fundamentos técnicos y económicos de la Confiabilidad,
  - Habilitando decisiones oportunas y alineadas con:
    - ❖ Creación de Valor y
    - ❖ Gestión de Riesgo.

Cordant

Baker Hughes

11

## Cuantificación de Pérdidas

Se Cuantificarán Pérdidas tales como:

- ☐ Costo de Pérdida de Producción por Hora de Parada = Lucro Cesante = Margen de Contribución. (\$/hora)
- ☐ Pérdidas de Producción Fijas por cada Parada. (\$/cada vez)
  - ☐ Costos de Reparación con Daños Secundarios. (\$)
    - ☐ Costos de Calidad y Reprocesos. (\$)
    - ☐ Costos de Energía. (\$)
    - ☐ Riesgos de Seguridad. (R)
    - ☐ Riesgos Ambientales. (R)
    - ☐ Riesgos de Cumplimiento y Legal. (R)
    - ☐ Reclamos de Clientes. (\$)
    - ☐ Etc.

Cordant

Baker Hughes

12

### Costo de la Falla ...



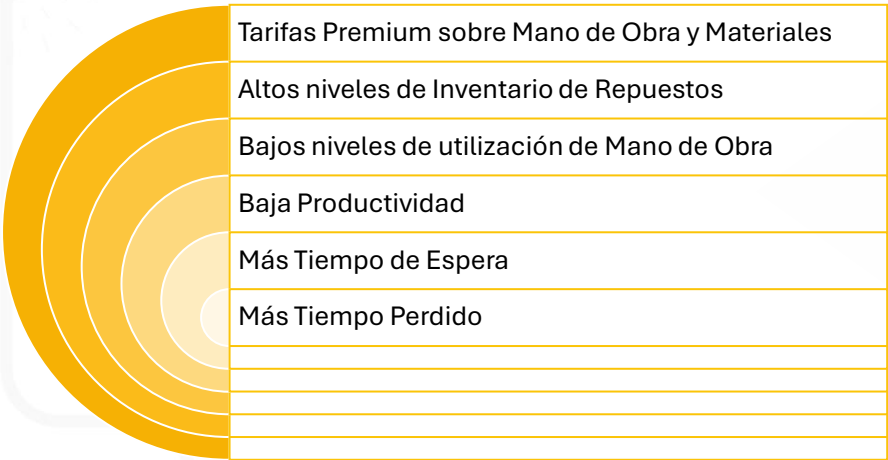
El negocio de la confiabilidad es reducir las pérdidas causadas por fallas.



Cordant

Baker Hughes

### Mantenimiento Reactivo - Aumenta el Costo del Trabajo



Cordant

Baker Hughes

# Ingeniería de Confiabilidad - Impulsa la Gestión Proactiva del Mantenimiento



Proporciona una base sólida para:

- Decidir las tareas de mantenimiento óptimas
- Determinar los requerimientos de repuestos
- Asignar los recursos humanos
- Definir los esfuerzos de rediseño necesarios
- Determinar los programas de mantenimiento

Cordant



# Ingeniería de Confiabilidad



También proporciona:



Cordant





Cálculo

Cuantificando el  
Impacto de la  
Falla

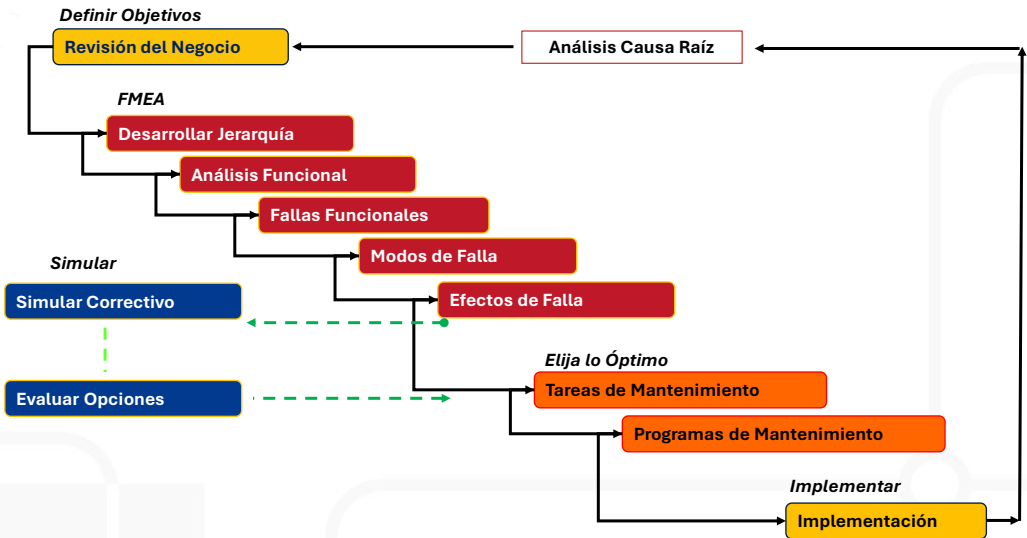


Cordant

Baker Hughes

17

Proceso de Optimizacion de Mantenimiento



Cordant

Baker Hughes

18

## Revisión del Negocio



- Meta del Proyecto:
  - ☐ Identificar lo que mueve al proyecto (Razones Financieras)
  - ☐ Entender los impactos de las fallas: Costos / Riesgos
  - ☐ Ordenar los ítems mantenibles en orden descendiente de importancia
  - ☐ Determinar que tantas veces se tiene que analizar usando la regla 80:20
  - ☐ Desarrollar un plan

Gestionar como un proyecto: con tiempos, recursos y resultados.  
*Pero siempre dentro de un **Proceso de Gestión de Activos***

Cordant



## Revisión del Negocio



- Entender la contribución de los activos al desempeño del negocio es esencial en la toma de decisiones de mantenimiento.
- Determinar costo unitario de tiempo de parada y los niveles de umbral de riesgo



Cordant



# Definir la Contribución de las Metas del Negocio en Términos Cuantificables



Producir 10,000 toneladas/año con bajo riesgo en seguridad, bajo impacto ambiental, y con costo de 500 USD/ton.

Entender su Negocio...

Cordant



# Determinar la Estrategia de Activos en Términos Mensurables Específicos



Disponibilidad del 85% en operación a capacidad nominal, con mínimos derrames y con menos de 2% de reprocesos.

Entender al activo...

Medir la oportunidad...

Cordant



# Determinar Planes de Mantenimiento con Tareas Específicas Alineadas con la Estrategia



El mejor mantenimiento cumple con la estrategia de activos y los objetivos del negocio al menor costo de ciclo de vida.

Las tareas de mantenimiento que se realizan a una frecuencia específica, con repuestos y recursos definidos.

Cordant



# Ejemplos de Revisión del Negocio



|                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Mina de Carbón</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Seguridad</li><li>Pérdida de Ingresos</li><li>Legislación</li><li>Bajo uso de capital</li><li>Aumento de los costos operacionales</li><li>Medio Ambiente</li></ul> | <b>Generador de Energía</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Falta de disponibilidad provocando la desconexión de carga.</li><li>Fallos de Unidad</li><li>Impacto en la eficiencia</li><li>Intervalos de apagones</li><li>Seguridad</li><li>Medio Ambiente</li></ul> | <b>Refinería</b> <ul style="list-style-type: none"><li>Seguridad</li><li>Medio Ambiente</li><li>Capacidad de la Planta</li><li>Reducción de riesgos o peligros</li><li>Los costos de operación</li><li>Costo de Capital</li></ul> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**El Desafío:** Definir el Impacto al Negocio (Costo) de las Fallas, relativo a los Objetivos de Negocio.

**¿Qué es importante?**

Costo por Hora de Parada  
Seguridad / Medio Ambiente  
Impacto al Cliente

Costo de Falla por Evento  
Operaciones  
Exposición Pública

Cordant



## Justificar las Decisiones de Mantenimiento



Lograr la producción y seguridad de la planta usando los recursos óptimos.

- Producción en cantidad y calidad
- Disponibilidad de la planta
- Seguridad y requisitos legales
- Eficiencia operativa



Definir la estrategia de mantenimiento para cada ítem mantenible

- Tareas de mantenimiento con las frecuencias, la duración, los materiales, y la mano de obra especificadas.

La razón de porque es importante entender los objetivos del negocio, es que el costo de mantenimiento debe ser balanceado con el costo de las fallas.

Cordant

Baker Hughes

### ¿CUÁNTO CUESTA UNA FALLA?

### PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN

**PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN**  
Lo que dejas de producir por cada hora de falla

=

**TIEMPO DE PARO (h)**  
Horas que el equipo estuvo fuera de servicio

x

**TASA DE PRODUCCIÓN (unidades/h)**  
Producción que se deja de hacer por hora

x

**MARGEN DE CONTRIBUCIÓN (\$/unidad)**  
Utilidad que aporta cada unidad producida

=

**PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (\$)**  
Impacto económico de la falla

**FÓRMULA**

**PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN (\$) = TIEMPO DE PARO (h) x TASA DE PRODUCCIÓN (unidades/h) x MARGEN DE CONTRIBUCIÓN (\$/unidad)**

**EJEMPLO**

4 h x 250 unidades/h x \$20 por unidad = **\$20,000** **PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN**

TIEMPO DE PARO      TASA DE PRODUCCIÓN      MARGEN DE CONTRIBUCIÓN

**CADA HORA DE FALLA LE CUESTA DINERO A TU NEGOCIO**  
**PREVENIR SIEMPRE SERÁ MÁS BARATO QUE REPARAR**



## ¿Cómo se Calcula la Pérdida de Producción?

Cordant

Baker Hughes

## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante

### Caso 1: Producción de Un Solo Producto

- Pérdida de Producción por Ton = **PPT**
- Lucro Cesante por Ton = **LCT**
- Margen de Contribución por Ton = **MCT**
- Precio de Venta por Ton = **PVT**
- Costos Variables por Ton = **CVT**

$$PPT = LCT = MCT = PVT - CVT$$

Cordant

Baker Hughes

27

## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante

### Caso 2: Producción de Tres Productos

- Producto 1, % de producción = **a**
- Producto 2, % de producción = **b**
- Producto 3, % de producción = **c**

$$\begin{aligned} PPT_1 &= LCT_1 = MCT_1 = PVT_1 - CVT_1 \\ PPT_2 &= LCT_2 = MCT_2 = PVT_2 - CVT_2 \\ PPT_3 &= LCT_3 = MCT_3 = PVT_3 - CVT_3 \end{aligned}$$

Cordant

Baker Hughes

28

## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante

### Caso 2: Producción de Tres Productos

- Pérdida de Producción por Hora = **PPH**
- Toneladas por Hora = **TPH**
- Pérdida de Producción de Máquina por Hora = **PPMH**

$$PPH = PPT * TPH$$

$$PPMH = a * PPH_1 + b * PPH_2 + c * PPH_3$$

Cordant

Baker Hughes 

29

## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante

### Caso 1: Producción de Un Solo Producto

- Pérdida de Producción por Ton = **PPT**
- Lucro Cesante por Ton = **LCT**
- Margen de Contribución por Ton = **MCT**
- Precio de Venta por Ton = **\$ 1000**
- Costos Variables por Ton = **\$ 600**

$$PPT = LCT = MCT = 1000 - 600 = 400 \$/T$$

Cordant

Baker Hughes 

30

## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante



### Caso 2: Producción de Tres Productos

- Producto 1, % de producción = **20%**
- Producto 2, % de producción = **30%**
- Producto 3, % de producción = **50%**

$$PPT_1 = LCT_1 = MCT_1 = 1000 - 600 = 400 \$/T$$

$$PPT_2 = LCT_2 = MCT_2 = 800 - 550 = 250 \$/T$$

$$PPT_3 = LCT_3 = MCT_3 = 2500 - 1700 = 800 \$/T$$

Cordant

Baker Hughes

31

## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante



### Caso 2: Producción de Tres Productos

- Pérdida de Producción por Hora = **PPH**
- Toneladas por Hora = **50 T/Hr**
- Pérdida de Producción de Máquina por Hora = **PPMH**

$$PPH_1 = 400 * 50 = 20.000 \$/Hr$$

$$PPH_2 = 250 * 50 = 12.500 \$/Hr$$

$$PPH_3 = 800 * 50 = 40.000 \$/Hr$$

$$PPMH = 0,2 * 20K + 0,3 * 12,5K + 0,5 * 40K$$

Cordant

Baker Hughes

32



## Costo de Pérdida de Producción – Lucro Cesante

### Caso 2: Producción de Tres Productos

- Pérdida de Producción por Hora = **PPH**
- Toneladas por Hora = **50 T/Hr**
- Pérdida de Producción de Máquina por Hora = **PPMH**

$$PPMH = 0,2 * 20K + 0,3 * 12,5K + 0,5 * 40K$$

$$PPMH = 27.750 \$/Hr$$

Cordant

Baker Hughes

33

## Efectos de Falla - Consecuencia de Falla

- La ocurrencia de algunas fallas tiene mayor impacto o consecuencia que otras
- Los efectos de modos de falla pueden ser categorizado en términos de su impacto en:
  - ☐ Seguridad y Ambiente
  - ☐ Operaciones
  - ☐ Costos
    - Por evento
    - Por hora

Cordant

Baker Hughes

34

## Efectos de Falla - Consecuencia de Falla



- Efectos de Falla:
  - Describen lo que va a **suceder** cuando un modo de falla **ocurre**.
  
- Consecuencias de Falla:
  - En un análisis de RCM estamos enfocados en entender de qué manera cada modo de falla **importa** para determinar el óptimo esfuerzo y así minimizar el impacto.

Cordant

Baker Hughes

35

## Consecuencia de Falla – Aproximación Inicial



- ❖ Asignar Efecto/Consecuencias de Falla a cada Modo de Falla
- ❖ Ordenar el sistema por Efectos/Consecuencia utilizando el reporte de Análisis de Modos de Falla y Efectos (FMEA).
- ❖ Genere una lista de Modos de Falla importantes basado en Criticidad (FMECA).
- ❖ Use la lista FMECA para Identificación, Documentación de Riesgos y Análisis de Oportunidades.

Cordant

Baker Hughes

36

Reporte FMEA / FMECA



Aard V.U.

FMEA

Plastic sheet extrusion plant

| Location description          | Function description                               | Functional failure description      | Cause ID    | Cause description                        | Effects IDs      | Effects descriptions                          |
|-------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------|------------------------------------------|------------------|-----------------------------------------------|
| Air supply system             | Provide high pressure air supply to extrusion unit | Failure to supply high pressure air | AS.1.A.1    | Worn bearings                            | SLOSS            | Small loss of production (1-20 %)             |
|                               |                                                    |                                     | AS.1.A.2    | Fan motor burns out                      | MLOSS            | Major loss of production (80-100%)            |
| Backup power diesel generator | Supply backup power when grid supply fails         | Fails to supply on demand           | P0.1.A.1    | Fails to start                           | MLOSS [RF=0.005] | Major loss of production (80-100%) [RF=0.005] |
| Blade                         | Cut plastic sheets cleanly                         | Blade stopped/jammed                | BLA.1.A.1   | Insufficient lubricant                   |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | BLA.1.A.2   | Motor breaks down                        |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | BLA.1.A.3   | Blade shears                             |                  |                                               |
|                               |                                                    | Cut uneven/poor quality             | BLA.1.B.1   | Blade Blunted                            |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | BLA.1.B.2   | Insufficient lubricant                   |                  |                                               |
| Breaker plate                 | Provide back pressure                              | Pressure released                   | FIL.2.2.A.1 | Rupture due to fault and/or overpressure | LOWQ             | Unacceptable product quality                  |
|                               |                                                    | Pressure uneven                     | FIL.2.2.B.1 | Partial clog                             | ILOSS            | Intermediate loss of production (20-80 %)     |
|                               | Reinforce filters                                  | Fails to reinforce filters          | FIL.2.1.A.1 | Structural fault                         | LOWQ             | Unacceptable product quality                  |
| Conveyor                      | Steady feed of sheets to outfeed moformer          | Belt unstable                       | CON.1.D.1   | Roller(s) shear                          |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | CON.1.D.2   | Belt damaged                             |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | CON.1.D.3   | Bearings worn                            | SLOSS            | Small loss of production (1-20 %)             |
|                               |                                                    | Conveyormoves too quickly           | CON.1.B.1   | Human error                              |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | CON.1.B.2   | Bearings worn                            | SLOSS            | Small loss of production (1-20 %)             |
|                               |                                                    | Conveyormoves too slowly            | CON.1.A.1   | Control system failure                   |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | CON.1.A.2   | Human error                              |                  |                                               |
|                               |                                                    |                                     | CON.1.A.3   | Bearings worn                            | SLOSS            | Small loss of production (1-20 %)             |
|                               |                                                    | Conveyor fails                      | CON.1.C.1   | Control system failure                   |                  |                                               |

Compiled by: Workgroup A

Approved by: A. Manager

Page 1 of 5

11/05/2025

Cordant

Baker Hughes



¿Qué es una Matriz de Riesgos?

Cordant

Baker Hughes

### Matriz de Riesgos



- ❖ Se utiliza para definir los Niveles de Riesgo.
- ❖ Considera la Probabilidad y la Severidad de un evento para generar un Nivel de Riesgo.
- ❖ Un mecanismo simple para aumentar la visibilidad de los Riesgos y facilitar la toma de decisiones gerenciales.

Cordant



### Ejemplo de Matriz de Riesgos



|              |      | SEVERIDAD      |                    |                      |         |            |                   |           |
|--------------|------|----------------|--------------------|----------------------|---------|------------|-------------------|-----------|
|              |      |                | 1                  | 2                    | 4       | 6          | 8                 | 10        |
|              |      | Seguridad      | Cuasi<br>Accidente | Primeros<br>Auxilios | Menor   | Reportable | Tiempo<br>Perdido | Fatalidad |
|              |      | Parada         | <30min             | 30min - 1h           | 1h - 2h | 2h - 4h    | 4h - 8h           | > 8h      |
|              |      | Ritmo Reducido | 30min - 1h         | 1h - 2h              | 2h - 4h | 4h - 8h    | 8h - 24h          | > 24h     |
| PROBABILIDAD | 1    | < 1 Año        | ALTO               | ALTO                 | ALTO    | SEVERO     | SEVERO            | SEVERO    |
|              | 0.5  | 2 Año          | MEDIO              | ALTO                 | ALTO    | SEVERO     | SEVERO            | SEVERO    |
|              | 0.25 | 4 Años         | MEDIO              | MEDIO                | ALTO    | ALTO       | SEVERO            | SEVERO    |
|              | 0.2  | 5 Años         | BAJO               | BAJO                 | MEDIO   | ALTO       | ALTO              | SEVERO    |
|              | 0.1  | 10 Años        | BAJO               | BAJO                 | BAJO    | MEDIO      | ALTO              | SEVERO    |
|              | 0.05 | 20+ Años       | BAJO               | BAJO                 | BAJO    | BAJO       | MEDIO             | ALTO      |

Cordant



### Severidad de Riesgo y Criticidad



Los Niveles de Severidad dentro del modelo son usados en Niveles Límites para varios Eventos.  
Esto permite resultados fáciles de interpretar ya que el límite será de 1.

Por Ejemplo:

Riesgo o Criticidad = Severidad \* Frecuencia

- Si el **Límite de Frecuencia Tolerable** es **F = 1 cada 10 años = 1/87600** para un evento mayor.
- Se asigna una **Severidad** de **S = 87600** para eventos mayores
- **Riesgo o Criticidad** = **S x F = 87600 x 1/87600 = 1**
- Cualquier **Riesgo o Criticidad mayor que 1**, significará que el evento está ocurriendo a una **Frecuencia mayor que el Nivel Tolerable** permitido.

Cordant



### Severidad de Riesgo y Criticidad



87600 horas

|                |      | SEVERIDAD       |                   |         |            |                |           |
|----------------|------|-----------------|-------------------|---------|------------|----------------|-----------|
|                |      | 1               | 2                 | 4       | 6          | 8              | 10        |
| Seguridad      |      | Cuasi Accidente | Primeros Auxilios | Menor   | Reportable | Tiempo Perdido | Fatalidad |
| Parada         |      | <30min          | 30min - 1h        | 1h - 2h | 2h - 4h    | 4h - 8h        | > 8h      |
| Ritmo Reducido |      | 30min - 1h      | 1h - 2h           | 2h - 4h | 4h - 8h    | 8h - 24h       | > 24h     |
| PROBABILIDAD   | 1    | < 1 Año         | ALTO              | ALTO    | ALTO       | SEVERO         | SEVERO    |
|                | 0.5  | 2 Año           | MEDIO             | ALTO    | ALTO       | SEVERO         | SEVERO    |
|                | 0.25 | 4 Años          | MEDIO             | MEDIO   | ALTO       | ALTO           | SEVERO    |
|                | 0.2  | 5 Años          | BAJO              | BAJO    | MEDIO      | ALTO           | SEVERO    |
|                | 0.1  | 10 Años         | BAJO              | BAJO    | BAJO       | MEDIO          | ALTO      |
|                | 0.05 | 20+ Años        | BAJO              | BAJO    | BAJO       | BAJO           | ALTO      |

1 en 10 años  
1 en 87600 horas

Riesgo o Criticidad = S x F = 87600 x 1/8760 = 1

Cordant



## Criticidad de Activos



La **Criticidad del Activo** evalúa la importancia relativa de un activo para el negocio al evaluar el impacto cuando este falla.

La Criticidad puede analizarse en dos niveles distintos:

- Nivel de Activo y
- Nivel de Modo de Falla

**FMEA y FMECA siguen los mismos pasos, salvo que el FMECA incluye pasos adicionales para definir la Criticidad.**

Cordant



43

## Criticidad de Activos



### A Nivel del Activo:

- Esto se realiza por fuera del contexto del FMEA y, generalmente, antes de iniciar el FMEA.
- Se utiliza para priorizar los activos y determinar el orden del análisis FMEA.  
Los activos de baja criticidad pueden no requerir un FMEA y emplear las recomendaciones del fabricante (OEM) o la estrategia de operar hasta la falla (Run-to-Failure, RTF) como estrategia inicial.

### A Nivel del Modo de Falla:

- Generalmente se realiza dentro de un FMECA (Análisis de Modos de Falla, Efectos y Criticidad).
- Se utiliza para priorizar los Modos de Falla y determinar el orden del análisis de Tareas de Mitigación.
  - ❖ Frecuentemente se omite el Análisis de Tareas de Mitigación para los Modos de Falla de menor criticidad; en su lugar, se adoptan recomendaciones del OEM, de los SME o estrategias RTF.

Cordant



44

## Criticidad a Nivel de Activo

El método típico consiste en utilizar una **Matriz de Riesgo** de Probabilidad de Falla vs. Severidad del Efecto (Probabilidad vs. Consecuencia)

El FMEA se realiza sobre el Modo de Falla Dominante del Activo, que es el modo de falla probable más crítico, generalmente definido de manera subjetiva.

La Criticidad del Activo se utiliza para priorizar más allá del desarrollo de la estrategia:

- Órdenes de trabajo correctivo de mantenimiento en la programación semanal
- Órdenes de trabajo preventivo cuando lo indica la programación
- Estrategias de repuestos
- Distribución de gastos de capital
- Etc.



$$\text{Riesgo o Criticidad} = \text{Severidad} * \text{Frecuencia}$$

Cordant

Baker Hughes

45

## Criticidad a Nivel del Modo de Falla

Existen tres métodos típicos:

- Matriz de Riesgo
- Número de Prioridad de Riesgo – RPN
- Enfoque Cuantitativo según MIL-1629A\*

\* El primer procedimiento FMECA fue desarrollado por el Ejército de EE. UU. como Procedimiento Militar MIL-P-1629, “Procedimientos para realizar un análisis de modos, efectos y criticidad de fallas”, en 1949.

Cordant

Baker Hughes

46

## Criticidad a Nivel del Modo de Falla

Método de **Matriz de Riesgo** empleado en el Análisis a Nivel de Activo para cada Modo de Falla y Efecto identificado

Usar un **Número de Prioridad de Riesgo – RPN**

$$RPN = Severidad * Probabilidad * Detectabilidad$$

- Cada uno en una **Escala de 1 a 10**.
- La Probabilidad y la Severidad provienen generalmente de una Matriz de Riesgo.
- La Detectabilidad suele definirse de forma Subjetiva en base a:
  - La Confiabilidad y Precisión del Método de Detección para Identificar un Modo de Falla Inminente o Punto P de Falla Potencial.
  - El Tiempo de Advertencia (Intervalo P-F) que se proporciona de forma consistente antes de que ocurra la Falla Funcional.

Cordant

Baker Hughes

47

## Criticidad a Nivel del Modo de Falla

Un **Enfoque Cuantitativo** según **MIL-1629A\***

- Un método intensivo, que requiere un nivel de calidad de datos de los modos de falla que rara vez se obtiene.
- Por lo general no se utiliza, salvo en situaciones que lo exijan y donde los datos estén estrictamente controlados y se generen con precisión

$$C_m = B * A * L_p * T$$

*$C_m$  = Número de Criticidad para el Modo de Falla*

*$B$  = Probabilidad del Efecto de Falla*

*$A$  = Tasa de Modos de Falla (Factor de Asignación)*

*$L_p$  = Tasa de Falla de la Parte que Falla*

*$T$  = Tiempo de Misión*

Fuente: MIL-STD-1629A

Cordant

Baker Hughes

48



FMECA: Ejemplo de Matriz de Riesgo



|                            |                     |    | Severidad del Efecto |       |          |       |              |
|----------------------------|---------------------|----|----------------------|-------|----------|-------|--------------|
| Probabilidad de Ocurrencia |                     |    | Baja                 | Menor | Moderada | Mayor | Catastrófica |
|                            |                     |    | 1                    | 3     | 5        | 8     | 10           |
|                            | Múltiples veces/año | 10 | 10                   | 30    | 50       | 75    | 100          |
|                            | Cada 1 - 5 años     | 8  | 8                    | 24    | 40       | 64    | 75           |
|                            | Cada 5 - 10 años    | 5  | 5                    | 15    | 25       | 40    | 50           |
|                            | Cada 10 - 20 años   | 3  | 3                    | 9     | 15       | 24    | 30           |
|                            | > 20 años           | 1  | 1                    | 3     | 5        | 8     | 10           |

Cordant



FMECA: Ejemplo de Matriz de Riesgo



Las categorías típicas de severidad incluyen:

- Seguridad\*, Ambiental\*, Ingresos (Producción Perdida por tiempo de parada o calidad), Costos (Reparaciones y Materia Prima desperdiciada) y cualquier otro Impacto al Negocio vital para la organización.

(\*) Muchas organizaciones ubican actualmente los Impactos de Seguridad y Ambientales en una matriz separada de la Matriz de los Impactos Financieros.

- Pero los resultados de ambas matrices se utilizan para definir una única calificación máxima global, independientemente de la categoría.

Cordant



FMECA – Ejemplo Semi-Cuantitativo



| Activo           | Componente | Función                                                 | Falla Funcional                           | Modo de Falla                                                        | Efecto de Falla                                                                         | Probabilidad | Severidad | Criticidad |
|------------------|------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|------------|
| Bomba Centrífuga | Sello      | Contener agua hasta 200 psi                             | Fugas de agua en el sello                 | Desgaste por edad                                                    | Peligro potencial de resbalón (casi accidente)                                          | 8            | 1         | 8          |
|                  | Rodamiento | Proporcionar rotación suave de la bomba hasta 3000 rpm, | La bomba no rota suavemente a ninguna rpm | Desgaste por edad                                                    | Parada de línea por 8 h a \$500/h + \$500 de costo de reparación                        | 5            | 8         | 40         |
|                  | Rotor      | proporcionar fuerza motriz para el agua                 | Sin fuerza motriz                         | El impulsor se rompió en pedazos por el impacto de un objeto extraño | Parada de línea por 16 h a \$500/h + \$2000 de costos de reparación + daños colaterales | 1            | 10        | 10         |

| Severidad | Acción                                                                                                |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Severa    | Se requiere respuesta inmediata con planes de estrategia inicial implementados en un plazo de 3 meses |
| Alta      | Se requiere respuesta con planes de estrategia inicial implementados en un plazo de 6 meses           |
| Moderada  | Se requiere respuesta con planes de estrategia inicial implementados en un plazo de 12 meses          |
| Baja      | Usar el plan prescrito por el OEM o RTF como estrategia inicial                                       |

Cordant

Baker Hughes

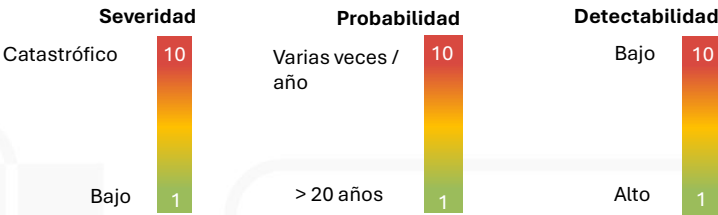
51

FMECA Típico Usando RPN



| Activo           | Componente | Función                                          | Falla Funcional                      | Modo de Falla                                           | Efecto de Falla                                                                                      | Probabilidad | Severidad | Método Detección | Detectabilidad | RPN |
|------------------|------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|-----------|------------------|----------------|-----|
| Bomba Centrífuga | Sello      | Contener agua hasta 200 psi                      | Fuga de agua en Sellos               | Desgaste por edad                                       | Riesgo potencial de resbalón (Cuasi Accidente)                                                       | 8            | 1         | Visual           | 8              | 64  |
|                  | Rodamiento | Prover rotación suave de la bomba hasta 2000 rpm | La Bomba no gira suave a ninguna rpm | Desgaste por edad                                       | Parada de línea durante 8 horas a 500 \$/hora + 500 \$ de costo de reparación.                       | 5            | 8         | Vibración        | 2              | 80  |
|                  | Rotor      | Proveer fuerza de movimiento al agua             | Sin fuerza de movimiento             | Rotor quebrado en pedazos por impacto de objeto extraño | Parada de línea durante 16 horas a 500 \$/hora + 2000 \$ de costes de reparación + daños colaterales | 1            | 10        | Nada (Aleatorio) | 10             | 100 |

RPN = Número de Prioridad de Riesgo (1 to 1000)



Cordant

Baker Hughes

52

Cuantificar Efectos de Falla



| ID                | Descripción                                                                                                                                   | Costo por Ocurrencia | Costo por Hora | Severidad Seguridad | Severidad Operacional | Severidad Ambiental |
|-------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------------|---------------------|-----------------------|---------------------|
| DT                | Tiempo de Parada                                                                                                                              | \$ -                 | \$ 2,570       | 0                   | 0                     | 0                   |
| DAM \$5,000       | Daño al Equipo - \$5,000                                                                                                                      | \$ 5,000             | \$ -           | 0                   | 0                     | 0                   |
| DAM \$10,000      | Daño al Equipo - \$10,000                                                                                                                     | \$ 10,000            | \$ -           | 0                   | 0                     | 0                   |
| DAM \$100,000,000 | Daño al Equipo                                                                                                                                | \$ 10,000,000        | \$ -           | 0                   | 0                     | 0                   |
| DAM \$500         | Daño al Equipo - \$500                                                                                                                        | \$ 500               | \$ -           | 0                   | 0                     | 0                   |
| ENV1              | Daño ambiental de largo plazo (5 años o más), o que requiera más de \$5 millones para estudiar o corregir                                     | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 0                     | 876000              |
| ENV2              | Daño ambiental de mediano plazo (1-5 años), o que requiera de \$1 a \$5 millones para estudiar o corregir                                     | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 0                     | 87600               |
| ENV3              | Daño ambiental de corto plazo (<1 año), o que requiera hasta \$1 millón para corregir                                                         | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 0                     | 43800               |
| ENV4              | Daño ambiental que requiera hasta \$250,000 para estudiar o corregir                                                                          | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 0                     | 8760                |
| ENV5              | Impacto ambiental insignificante, gestionado dentro de los presupuestos operativos                                                            | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 0                     | 876                 |
| H&S1              | Fatalidad de personal, contratista o público                                                                                                  | \$ -                 | \$ -           | 876000              | 0                     | 0                   |
| H&S2              | Lesión grave o enfermedad ocupacional (no recuperable) o discapacidades mayores permanentes (agudas o crónicas)                               | \$ -                 | \$ -           | 87600               | 0                     | 0                   |
| H&S3              | Lesión con tiempo perdido o trabajo restringido o enfermedad ocupacional (recuperable)                                                        | \$ -                 | \$ -           | 43800               | 0                     | 0                   |
| H&S4              | Lesión con tratamiento médico o primeros auxilios, sin tiempo perdido ni enfermedad ocupacional                                               | \$ -                 | \$ -           | 8760                | 0                     | 0                   |
| H&S5              | Sin lesión                                                                                                                                    | \$ -                 | \$ -           | 876                 | 0                     | 0                   |
| HOUSEKEEPING      | Orden y limpieza                                                                                                                              | \$ -                 | \$ 50          | 0                   | 0                     | 0                   |
| REG1              | Posible intervención y procesamiento regulatorio                                                                                              | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 876000                | 0                   |
| REG2              | Incumplimiento de licencias, legislación, regulación o estándares corporativos obligatorios                                                   | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 87600                 | 0                   |
| REG3              | Incumplimiento de estándares, lineamientos o legislación inminente, o asunto planteado como inquietud corporativa mediante Auditoría hallazgo | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 43800                 | 0                   |
| REG4              | Incumplimiento de procedimientos o lineamientos internos                                                                                      | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 8760                  | 0                   |
| REG5              | Sin incumplimiento de licencias, estándares, lineamientos o Auditoría relacionados                                                            | \$ -                 | \$ -           | 0                   | 876                   | 0                   |

Cordant™



Santiago Sotuyo Blanco

Ingeniero Principal de Confiabilidad - Latino América  
Cordant™ Solutions, IET, Baker Hughes  
santiago.sotuyo@bakerhughes.com

¿PREGUNTAS O COMENTARIOS?

¡Muchas Gracias!

Cordant™



SESIÓN 19

ESCANEA EL CÓDIGO QR



RESPONDE UNA BREVE ENCUESTA



CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
COLOMBIA

3<sup>a</sup>  
EDICIÓN

¡GRACIAS!

Santiago Sotuyo Blanco

[santiago.sotuyo@bakerhughes.com](mailto:santiago.sotuyo@bakerhughes.com)

Baker Hughes

