


**TOOLBOX**

Baker Hughes

# Análisis de Disponibilidad y Capacidad de Sistemas

*mediante*
**Diagramas de Bloques de Confiabilidad (RBD)**
**Ing. Ind. Santiago Sotuyo Blanco, CMRP, CRL, AMP-S**
*Ingeniero Principal de Confiabilidad – Capacitación*
*Cordant™ Soluciones, IET, Baker Hughes*
*santiago.sotuyo@bakerhughes.com*


1

## PRESENTACIÓN

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

Baker Hughes

### Santiago Sotuyo Blanco

Ingeniero Principal de Confiabilidad – Capacitación, BAKER HUGHES

Miembro del Grupo Global de Capacitación. Supervisa el desarrollo de proyectos de Cordant™ Soluciones 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).


**#CMCMéxico2025**


2

## PRESENTACIÓN

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

#### Reconocimientos 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.



#CMCMéxico2025



3

## Objetivo

Taller de Introducción al desarrollo del **Análisis de Disponibilidad y Capacidad de Sistemas a lo largo del Ciclo de Vida**, mediante el uso de **Diagramas de Bloques de Confiabilidad (RBD)**:

- **Introducción** al Análisis de Disponibilidad de Sistemas.
- **Tipos** de modelado de Diagramas de Bloques de Confiabilidad.
- Creación de Diagramas de Bloques de Confiabilidad: **Serie vs. Paralelo y Redundante**.
- Cómo representar la **Capacidad** de Producción del Sistema.
- El proceso del modelado; incluidas las **Consecuencias** y la **Simulación**.
- Análisis de Escenarios **Alternativos**.
- **Ejercicio** interactivo para desarrollar la complejidad del RBD.

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



4

4

# Introducción al Análisis de Disponibilidad de Sistemas

5

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



5

## Impactos en la Disponibilidad de Planta

### ¿Qué impacto tiene el Plan de Mantenimiento en la Disponibilidad de planta?

- ¿Cuántas interrupciones puedo esperar?
- ¿Qué nivel de tiempo de parada es probable?
- ¿Cuál es el período de tiempo entre interrupciones?
- ¿Cuál será el nivel general de Disponibilidad?
- ¿Qué impacto tendrá en la capacidad de la planta a lo largo del tiempo?



### ¿Qué impacto tiene el Plan Logístico en la Disponibilidad de la planta?

- ¿Tendré suficientes repuestos?
- ¿Qué nivel debo mantener frente a depender de proveedores?
- ¿Qué nivel de personal se va a requerir?



### ¿Es el Diseño capaz de cumplir los Objetivos de negocio requeridos?

- ¿Debería tener más redundancia instalada?
- ¿Qué política debo seguir? ¿Mantener una reserva (stand by) caliente o fría; con o sin controles periódicos?
- ¿Tienen mis activos suficiente capacidad para el nivel de producción que deseo?



6

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



6

## Introducción

### Desarrollo de Planes de Mantenimiento Efectivos utilizando FMECA

- Análisis de Sistemas
  - Análisis Funcional
    - Modos de Falla
      - **Efectos/Impactos** → *Enlace Típico al Negocio*
      - Comportamiento Físico
      - Opciones de Mantenimiento

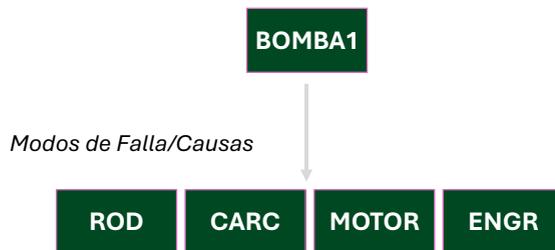
7 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



7

## Evaluación del Desempeño del Sub-Sistema con FMECA



En un análisis FMECA, los modos de falla individuales se evalúan como eventos independientes, es decir, se suma el impacto general.

#### Desempeño del Sub-Sistema:

- Tiempo Operación/Tiempo Parada
- Impacto en la Producción
- MTBF
- MTRR



#### Individual:

- Comportamiento físico
- Acciones correctivas
- Mantenimiento preventivo
- Inspecciones
- Uso de repuestos
- Uso de mano de obra

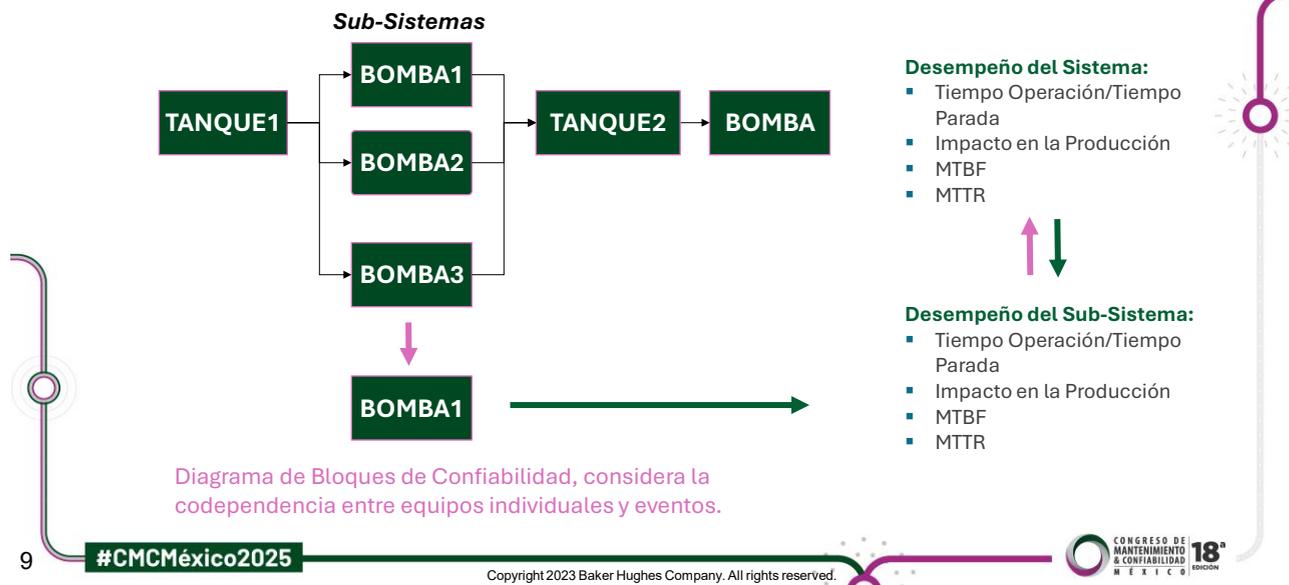
8 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



8

## Evaluación del Desempeño del Sistema con RBD



9

9

## Modelos de Simulación de Disponibilidad

Los **Modelos de Simulación** de Disponibilidad calculan:

**Disponibilidad,**  
**Capacidad de Producción,**  
**Tiempo de Parada, y**  
**Costos** anticipados del sistema,

A partir de:

**Datos de Confiabilidad** o **Suposiciones**

Sobre el probable:

**Comportamiento de Falla**

De los equipos que componen los sistemas dentro de una planta.

• Modela **decisiones** del mundo real con **vínculos dinámicos** entre:

- Envejecimiento del equipo,
- Acciones de mantenimiento,
- Disponibilidad de recursos,
- Otros equipos,
- Nivel de redundancia,
- Disponibilidad de repuestos,
- Configuración del diseño.

• Las **decisiones** de mantenimiento y los **supuestos** sobre la confiabilidad del equipo están **vinculados** al:

- **Desempeño esperado** del sistema.

10

10

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

## Tipos de RBD – Alto Nivel

### RBD de Alto Nivel

- El bloque representa el equipo.
- MTBF y MTTR.
- Resultados de capacidad y disponibilidad.

### Ventajas

- Desarrollo rápido.
- Identifica qué subsistemas se deben revisar con mayor profundidad.
- Se hacen menos suposiciones en el desarrollo de RBD.



11

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



11

## Tipos de RBD – Bajo Nivel

### RBD de Bajo Nivel (Modos de Falla)

- El bloque representa un modo de falla (FMEA).
- Características de Weibull, tareas correctivas, de inspección planificada.
- Resultados como: presupuesto, repuestos, restricciones logísticas.

### Ventajas

- Revisión más profunda de los modos de falla y el mantenimiento aplicado para mitigarlos
- Identifica los modos de falla específicos que causan la mayoría de los problemas
- Mayor precisión en la proyección del desempeño



12

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



12

# Crear Diagramas de Bloques de Confiabilidad (RBD)

13 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



13

## Diagramas de Bloques de Confiabilidad

### Se utilizan para:

Simplificar sistemas complejos.

Proporcionar un medio para predecir el desempeño de la confiabilidad del sistema.

Ayudar en la evaluación de configuraciones alternativas.



Los Bloques representan fallas de sistemas, subsistemas, equipos, fallas del operador, etc.

Los Bloques pueden contener sub-Bloques que representan modos de falla.

El Sistema ha fallado si no existe una ruta desde el Nodo de Entrada al Nodo de Salida.

14 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



14

## Diagramas de Bloques de Confiabilidad

El Sistema falla si el componente único A falla porque no hay un camino abierto entre la entrada y la salida.



Si A tiene una Disponibilidad de 0,9 entonces  
El sistema también tiene una Disponibilidad de 0,9

15

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



15

## Sistemas en Serie



Lógica "Y": A y B y C

Componente A	Componente B	Componente C	Sistema
Operando	Operando	Operando	Operando
Operando	Operando	Fallado	Fallado
Operando	Fallado	Operando	Fallado
Operando	Fallado	Fallado	Fallado
Fallado	Operando	Operando	Fallado
Fallado	Operando	Fallado	Fallado
Fallado	Fallado	Operando	Fallado
Fallado	Fallado	Fallado	Fallado

Disponibilidad de Sistema en Serie Simple

$$A_{\text{serie}} = A_A \times A_B \times A_C \dots A_N$$

Donde "A" representa Disponibilidad

16

#CMCMéxico2025

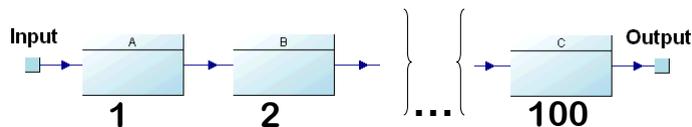
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



16

## Sistemas en Serie

Ampliamos nuestro sistema a 100 bloques en serie, donde cada bloque tiene una disponibilidad de 0,99.



Si cada bloque tiene una disponibilidad de 0,99  
 El sistema tiene una disponibilidad =  $0.99^{100} = 0.366$  o 36.6%

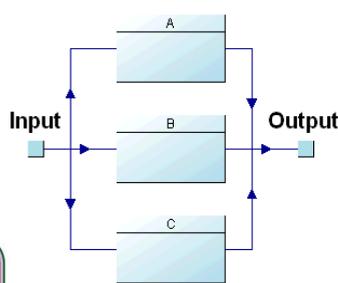
17 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

17

## Sistemas en Paralelo



Componente A	Componente B	Componente C	Sistema
Operando	Operando	Operando	Operando
Fallado	Operando	Operando	Operando
Operando	Fallado	Operando	Operando
Operando	Operando	Fallado	Operando
Operando	Fallado	Fallado	Operando
Fallado	Operando	Fallado	Operando
Fallado	Fallado	Operando	Operando
Fallado	Fallado	Fallado	Fallado

Lógica "O"

A o B o C

### Disponibilidad de Sistema Paralelo Simple

$$A_{\text{paralelo}} = 1 - (1 - A_A)(1 - A_B)(1 - A_C) \dots (1 - A_N)$$

Donde "A" representa Disponibilidad

18 #CMCMéxico2025

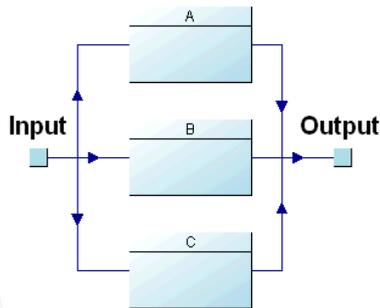
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.

CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD MEXICO 18ª EDICION

18

## Sistemas en Paralelo

Si la disponibilidad de cada bloque es 0,9  
¿cuál es la disponibilidad del sistema?



### Disponibilidad de Sistema Paralelo Simple

$$A_{\text{paralelo}} = 1 - Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \dots Q_n$$

Donde "Q" representa indisponibilidad

Si cada bloque tiene una disponibilidad de 0,9

El Sistema tiene una disponibilidad de

$$= 1 - 0.1 \times 0.1 \times 0.1 = 0.999 \text{ or } 99.9\%$$

19

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



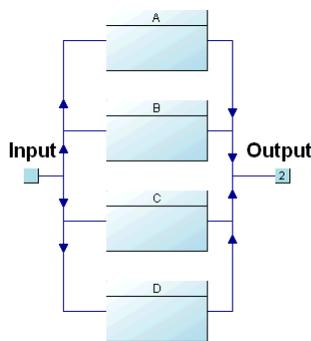
19

## Sistemas Complejos

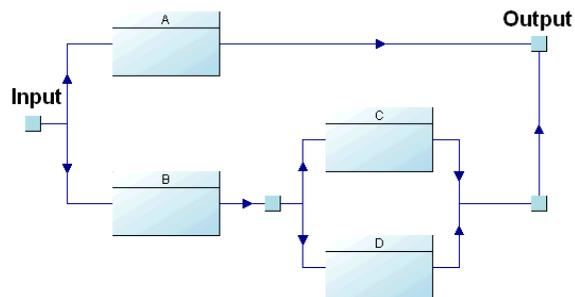
Se puede configurar una Complejidad Creciente de los Sistemas a Modelar

Usando Nodos de Votación

Incorporando Combinaciones en Serie y en Paralelo



2 requeridos



20

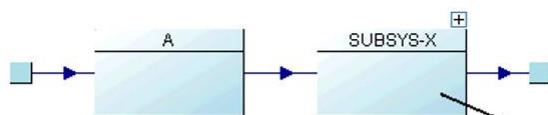
#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



20

## Sistemas con Bloque de Sub-Sistemas



Bloque de Sub-Sistemas

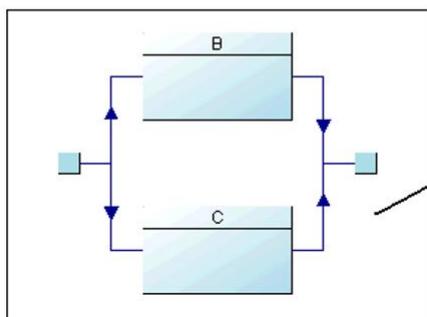


Diagrama del Sub-Sistema en página diferente

21

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



21

## Construyendo RBD's

9 Bombas de agua de alimentación de calderas que alimentan un cabezal común:

- 4 bombas pequeñas, 3 con 1 de repuesto
- 3 bombas medianas, 2 con 1 de repuesto
- 2 bombas grandes Ambas requeridas

En el estado actual funcionan 3 bombas pequeñas, 2 bombas medianas y ambas bombas grandes.

**¿Cómo se representa esto en un RBD?**



22

#CMCMéxico2025

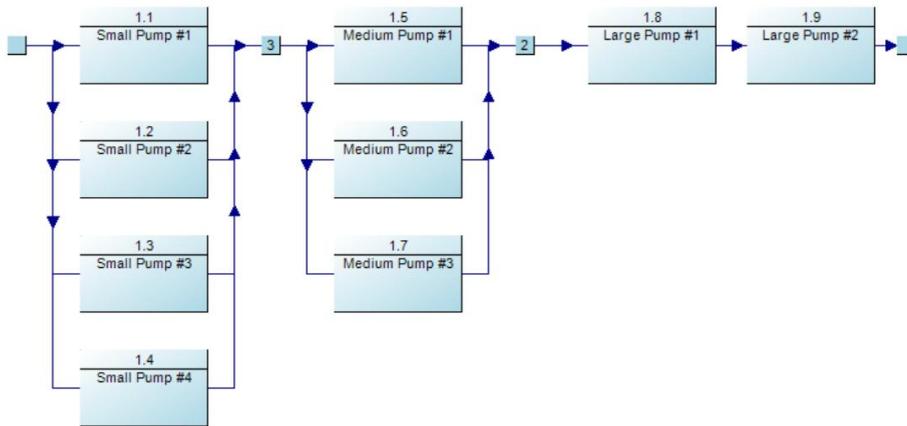
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



22

## Construyendo RBD's

Baker Hughes



23

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



23

## Capacidad de Producción

Baker Hughes

Los Diagramas de Bloques de Confiabilidad también pueden utilizarse para modelar:

- **Niveles de Producción Intermedios**

- producción del 70%
- producción del 50%
- etc.

No solamente:

- **Disponibilidad**
  - falla (0%)
  - éxito (100%)

El flujo de producción se modela especificando valores de **Capacidad Máxima** para los bloques de componentes en el diagrama.

24

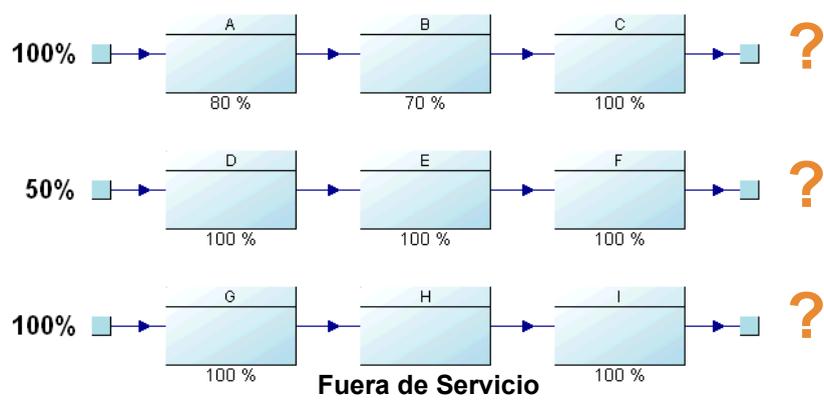
#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



24

### Capacidad Sistemas en Serie



Determinación de capacidad de producción para bloques en serie



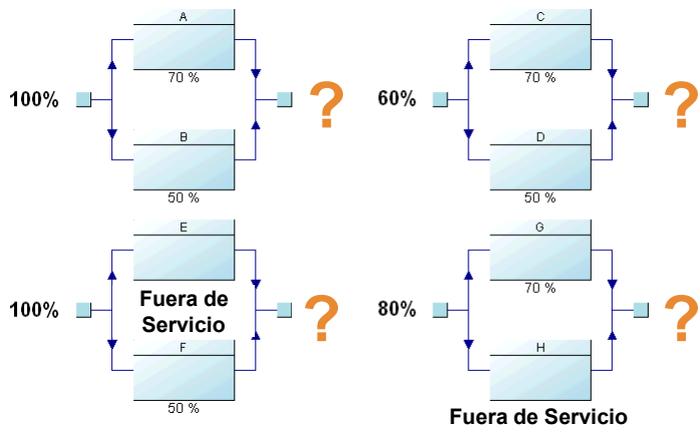
25 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



25

### Capacidad Sistemas en Paralelo



Determinación de capacidad de producción para bloques en paralelo



26 #CMCMéxico2025

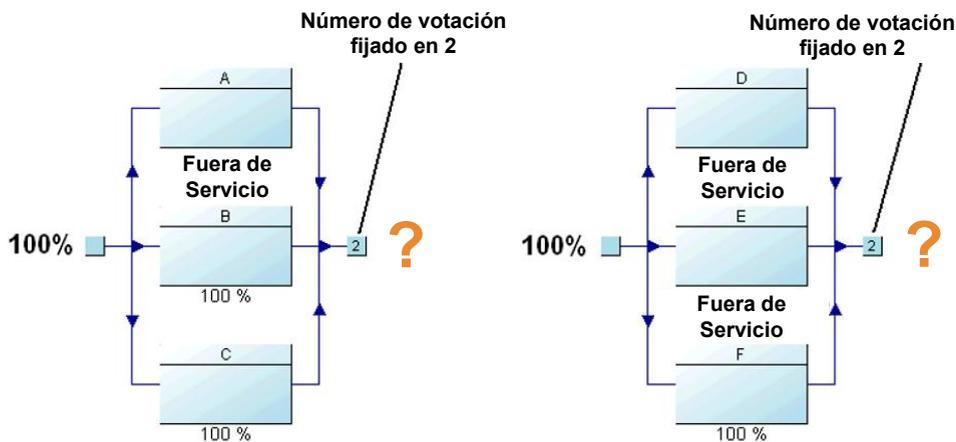
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



26

## Capacidad Sistemas con Votación

Baker Hughes



### Determinación de capacidad de producción para bloques con votación

27

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



27

# Proceso de Diagramas de Bloques de Confiabilidad (RBD)

Baker Hughes

28

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



28

## Simulación de Disponibilidad

1. Definir el camino del éxito.
2. Ingresar datos de fallas y reparaciones (MTBF y MTTR).
3. Comprobar que el desempeño del sistema cumple los objetivos.
4. Implementar y Mejorar.

29

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



29

## Paso 1. Definir el Camino al Éxito

- ¿Qué equipos deben estar en estado operativo para que el sistema funcione durante la vida especificada?
- ¿Existen opciones de reserva, bypass o búfer para equipos críticos?
- ¿Cómo se ve afectada la probabilidad de falla de un activo si es redundante?
- ¿Es un activo de reserva "caliente", "tibio" o "frío"?
- ¿Cuál es la capacidad máxima sostenible de los equipos?
- ¿Existen activos o subsistemas paralelos?

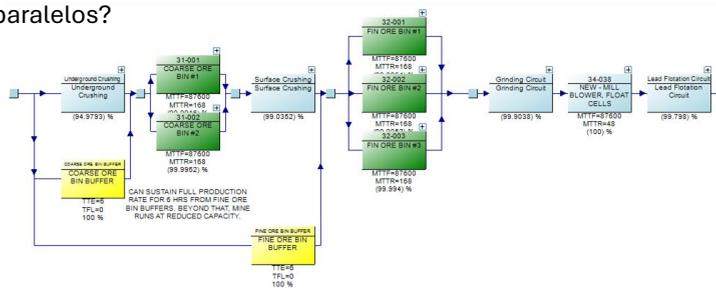
30

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



30



## Consecuencias

Existen dos tipos diferentes de consecuencias:

### CONSECUENCIA DE PARADA TOTAL:

- Las Consecuencias de Parada Total se deben utilizar al realizar un **Estudio de Disponibilidad** tradicional.
- Se asigna **Tasa de Costo** por *Tiempo de Parada de Toda la Planta*:  $\frac{\$400}{\text{hora}}$

### CONSECUENCIA DE PÉRDIDA DE CAPACIDAD:

- Las Consecuencias de Pérdida de Capacidad responden al **Flujo de Producción** (Desempeño) a través del bloque RBD asociado con la consecuencia.
- Se asigna **Tasa de Costo** por *Unidad de Pérdida de Capacidad*:

Si la capacidad máxima es  $\frac{100 \text{ ton}}{\text{hora}}$  y el costo del tiempo de parada es  $\frac{\$2,000}{\text{hora}}$  entonces:  $\frac{\text{hora}}{100 \text{ ton}} \times \frac{\$2,000}{\text{hora}} = \frac{\$20}{\text{ton}}$

31

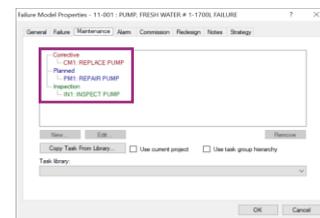
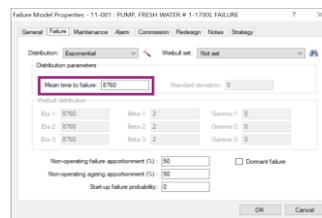
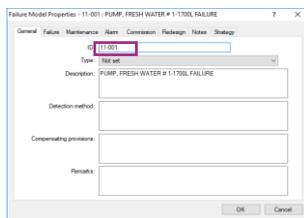
#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



31

## Paso 2. Ingresar Datos de Falla y Reparación



- Definición del Modelo de Falla.
- Comportamiento de fallas mediante parámetros de Weibull.
- Tiempos de mantenimiento para Correctivo, Preventivo o Inspección y Monitoreo.
- Definir los requisitos de Mano de Obra:
  - Tipo de recurso
  - Costo unitario de Mano de Obra
  - Retraso logístico para Correctivo
- Definir los requisitos de Repuestos:
  - Tipo de Repuesto
  - Costo unitario de Repuestos
  - Retraso Logístico: para el Sitio, Depósito, Vendedor o Fabricante
  - Capacidad de Carga
  - Optimizar los Niveles de Inventario

32

#CMCMéxico2025

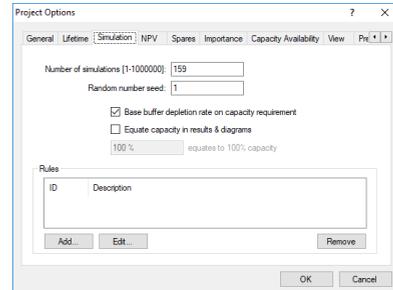
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



32

## Paso 3. Simular el Desempeño

- Asegurarse que la vida del sistema esté establecida.
- Realizar una simulación con el nivel de repetibilidad deseado.
- Configurar la precisión correcta para los resultados.
- Ajustar la capacidad máxima del sistema si es necesario.
- Comparar los resultados con los objetivos:
  - Disponibilidad, Confiabilidad, MTBF
  - Costos
  - Capacidad
- Clasificación de importancia para futuras mejoras.



33

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



33

## Paso 4. Implementar y Mejorar

- Diseño del modelo
- Repuestos
- Tareas de mantenimiento e intervalos
- Retroalimentación de finalización de trabajo a modelos de datos de fallas
- Retroalimentación de capacidad máxima del equipo a datos del equipo
- Actualizar modelo

34

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



34

## Simulación - Entradas

- Tipos de equipos
- Configuración
- Capacidades de producción
- Redundancia
- Historial de fallas
- Planes de mantenimiento
- Monitoreo de condiciones
- Disponibilidad de repuestos
- Dependencias entre equipos
- Frecuencias de parada



Simulación por computadora

35

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



35

## Simulación - Resultados

- Disponibilidad de la planta
- Disponibilidad del sistema
- Tiempo de parada total
- Número esperado de paradas
- Capacidad del sistema
- Niveles óptimos de almacenamiento de repuestos
- Riesgo de falla catastrófica
- Costos de ciclo de vida
  - *Repuestos*
  - *Mano de obra*
  - *Efectos de fallas*



Simulación por computadora

36

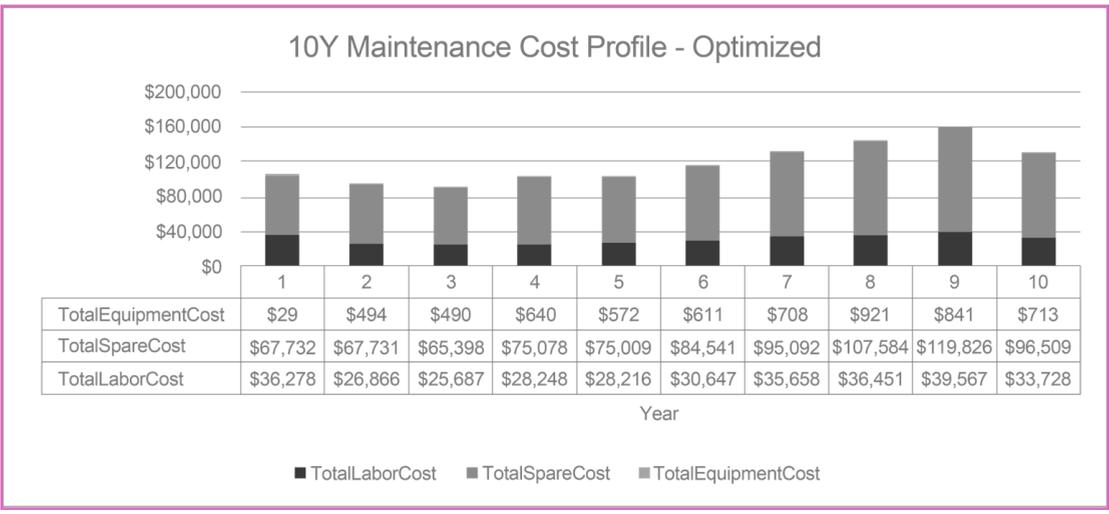
#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



36

### Predicciones: Perfil de Costos



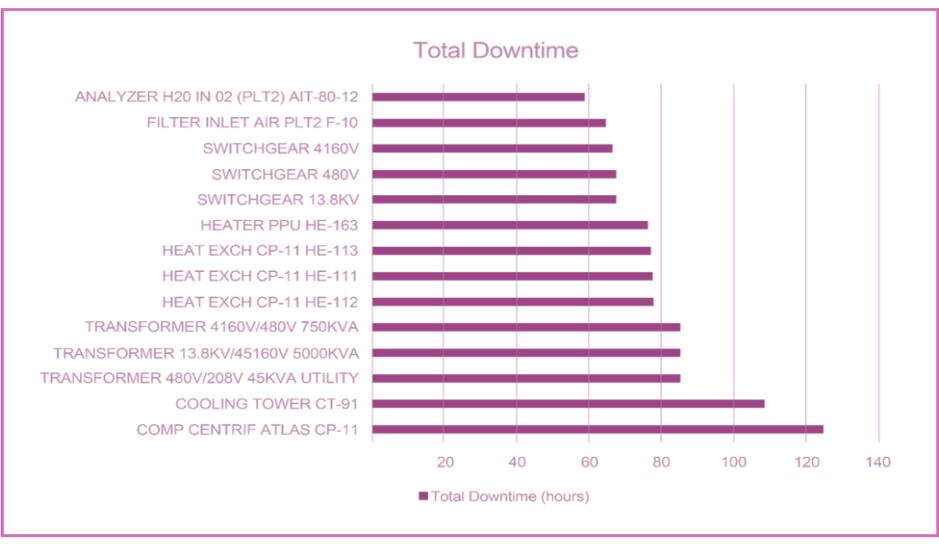
37 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



37

### Predicciones: Contribución



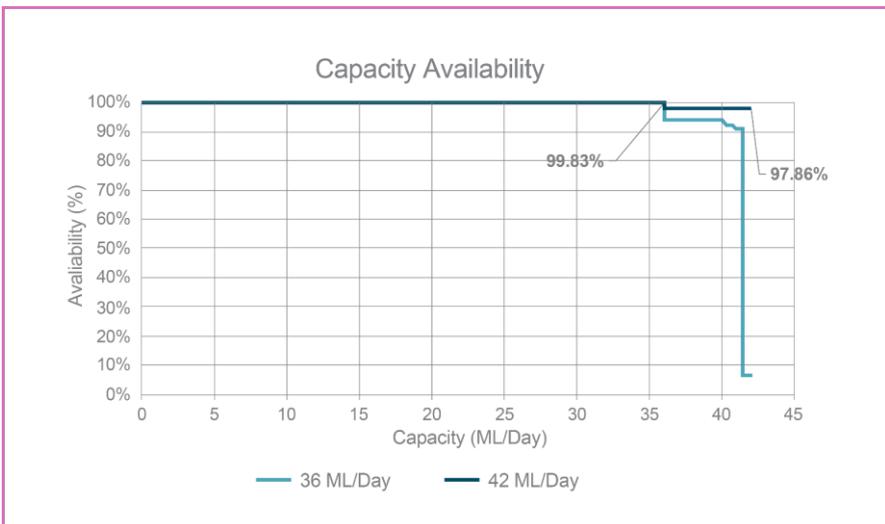
38 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



38

# Predicciones: Capacidad/Disponibilidad



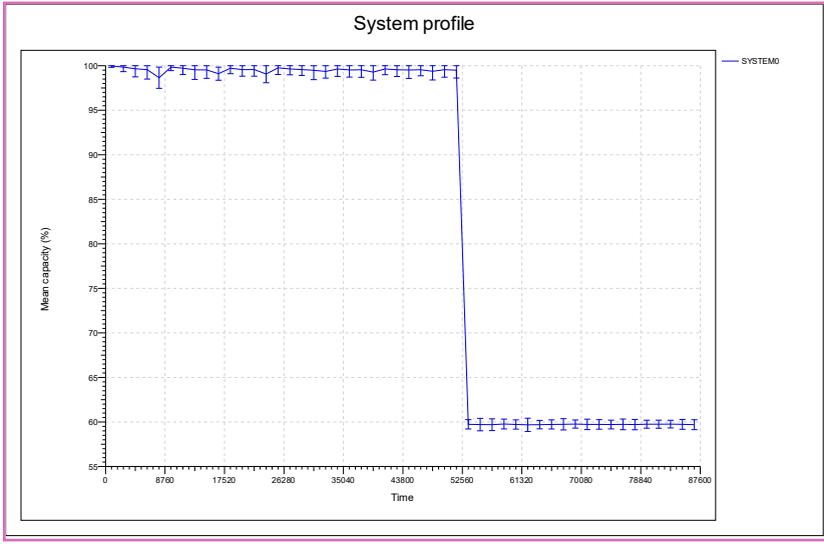
39 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



39

# Diferentes Fases



40 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



40

## Análisis de Importancia

En un Sistema Complejo ¿qué equipos mejoramos?

### Apunte al equipo importante por su Impacto en:

- Costo
- Tiempo de Parada Total
- Capacidad
- Seguridad
- Ambiente
- Frecuencia de Falla
- Operacional

¿Cómo decidirás qué es más importante?

¡Trabaja en unos pocos vitales en cada área para lograr el mayor impacto!

41

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.

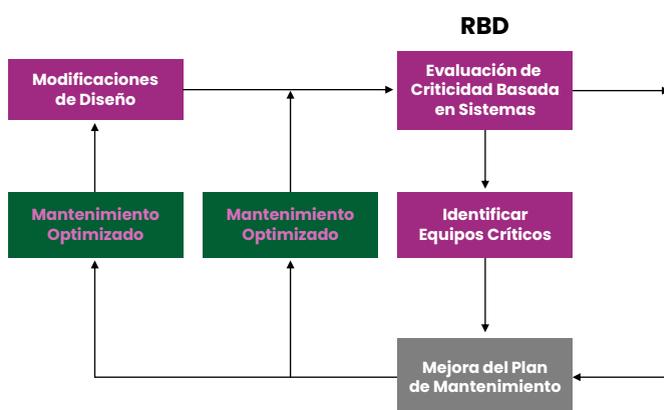


41

## El Proceso

### Inicial

- Configuración de la planta
- Capacidades
- Fallos importantes
- Costo del tiempo de parada
- Registro de tiempo de operación (MTBF)
- Registro de tiempo de parada (MTTR)



### Predicciones

- Disponibilidad del sistema
- Capacidad del sistema
- Costos previstos
- Optimización de repuestos
- Oportunidades de mejora

### Mejora

- Historial de órdenes de trabajo
- Modos de falla y parámetros de Weibull

42

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



42

## Evaluar Alternativas

- Configuraciones alternativas
- Nuevos datos de fallas
- Redundancia adicional
- Reducción de repuestos en el sitio
- Modificación de intervalos de parada
- Modificación del tamaño del buffer (por ejemplo, almacenamiento en tanques)
- Predicción de la disponibilidad y el desempeño de la capacidad

43

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



43

## Evaluación de Escenarios Alternativos

- Mantenimiento planificado actual ¿Es rentable?
- Frecuencia de mantenimiento óptima
- Mejoras de diseño rentables y seguras
- Nivel óptimo de repuestos a tener en sitio y en depósito
- Mejorar uso de la mano de obra y equipos
- Mejor manera de aprovechar márgenes de maniobra para mantener la capacidad
- Reducir los riesgos
- Costos probables del ciclo de vida
- Frecuencia óptima para realizar revisiones importantes
- Mantenimiento predictivo ¿Vale la pena realizarlo?
- Activos envejecidos ¿Cómo afectan los costos del ciclo de vida?

44

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



44

## Calcular Disponibilidad: Línea Base

Disponibilidad de Bloque :

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Disponibilidad (A) e Indisponibilidad (Q):

$$A = 1 - Q$$

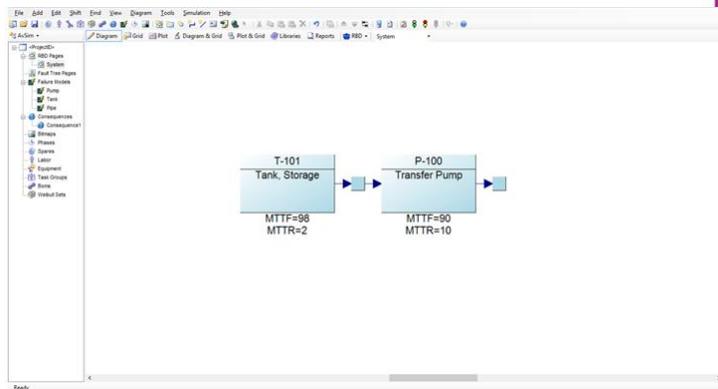
Disponibilidad - Serie:

$$A = A_1 \times A_2 \times A_3 \dots$$

Disponibilidad - Paralelo:

$$A = 1 - (Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \dots)$$

OBJETIVO = 95% de Disponibilidad



DISPONIBILIDAD = 88.2%

45

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



45

## Calcular Disponibilidad: Agregar Bomba de Reserva

Disponibilidad de Bloque:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Disponibilidad (A) e Indisponibilidad (Q):

$$A = 1 - Q$$

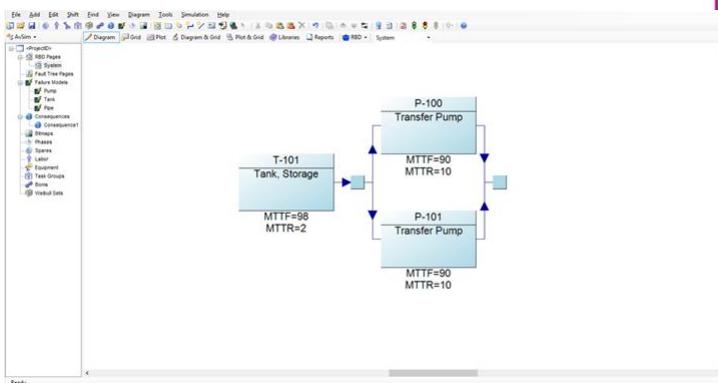
Disponibilidad - Serie:

$$A = A_1 \times A_2 \times A_3 \dots$$

Disponibilidad - Paralelo:

$$A = 1 - (Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \dots)$$

OBJETIVO = 95% de Disponibilidad



DISPONIBILIDAD = 97.0%

46

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



46

## Calcular Disponibilidad: Aumentar Disponibilidad

Disponibilidad de Bloque:

$$A = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR}$$

Disponibilidad (A) e Indisponibilidad (Q):

$$A = 1 - Q$$

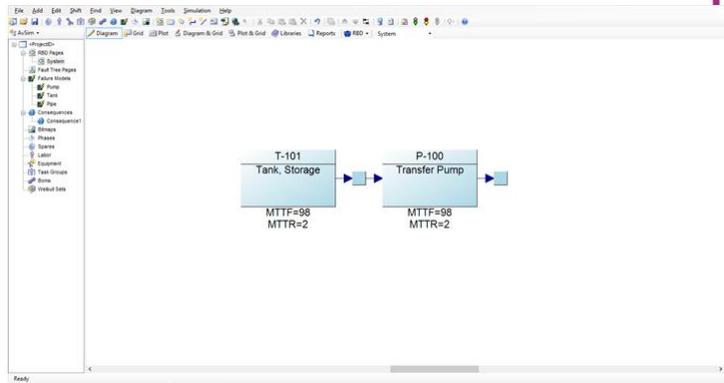
Disponibilidad - Serie:

$$A = A_1 \times A_2 \times A_3 \dots$$

Disponibilidad - Paralelo:

$$A = 1 - (Q_1 \times Q_2 \times Q_3 \dots)$$

OBJETIVO = 95% de Disponibilidad



DISPONIBILIDAD = 96.0%

47

#CMCMéxico2025

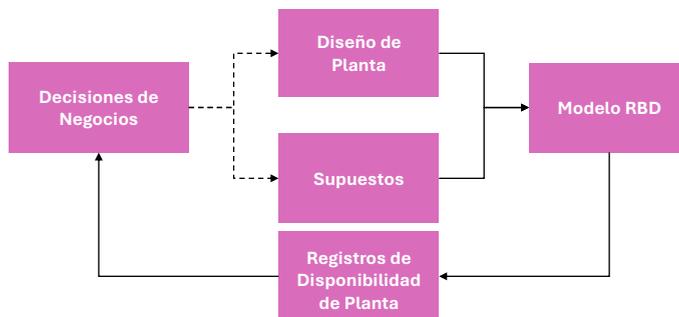
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



47

## Mejorar

- Retroalimentación de la finalización del trabajo a los modelos de datos de fallas
- Supuestos de capacidad máxima
- Actualización del modelo
- Predicciones futuras



48

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



48

# Ejercicio: Molienda de Cemento

49 #CMCMéxico2025

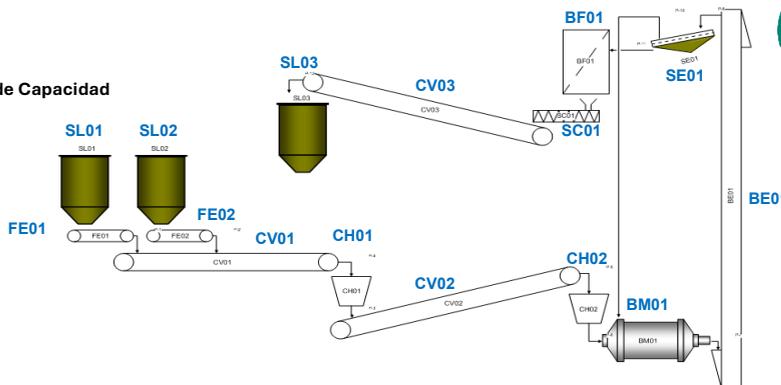
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



49

## Ejercicio: Molienda de Cemento

**Duración: 87600 (10 años)**  
**Simulaciones: 100**  
**Consecuencia de Pérdida de Capacidad**



- 1 de los 2 silos de clínker (SL01 y SL02) alimenta el sistema transportador hacia el molino de bolas (BM01)
- El cemento del molino de bolas se transporta a través de un elevador de cangilones (BE01) a un separador de alta eficiencia (SE01)
- La granalla fluye de regreso al molino mientras que los finos se dirigen a un filtro de mangas (BF01) para su recolección y transporte al silo de cemento (SL03)
- No hay redundancia después del circuito del silo de clínker.

50 #CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



50

## Ejercicio: Molienda de Cemento

Baker Hughes



ITEM	DESCRIPCIÓN	MTBF	MTTR	Max Cap (tph)
BE01	Elevador de Cangilones	336	4	4000
BF01	Filtro de Mangas	730	8	6000
BM01	Molino de Bolas	2190	2	6000
CH01	Tolva	168	0.3	5000
CH02	Tolva	168	0.3	5000
CV01	Transportador	2190	1	5500
CV02	Transportador	2190	1	5500
CV03	Transportador	2190	1	5500
FE01	Alimentador	336	2	5200
FE02	Alimentador	336	2	5200
SC01	Tornillo Transportador	8760	8	5800
SE01	Separador	8760	6	5800
SL01	Silo	730	1	6000
SL02	Silo	730	1	6000
SL03	Silo	2190	4	6000

### Historial del Equipo:

- El historial de fallas ha sido pobre, pero los registros del operador revelaron los siguientes datos de fallas y reparaciones (MTBF/MTTR).

### Paradas Programadas:

- El circuito de molienda tiene una parada mayor cada 6 meses durante 48 horas para mantenimiento mayor donde se renuevan piezas desgastadas en tolvas, molino y separador.

51

#CMCMéxico2025

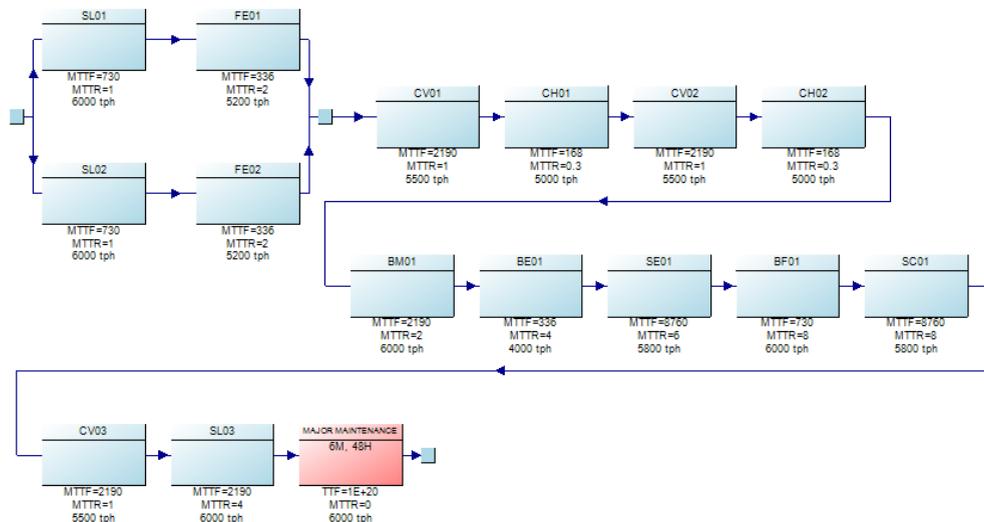
Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



51

## Ejercicio: Molienda de Cemento

Baker Hughes



52

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



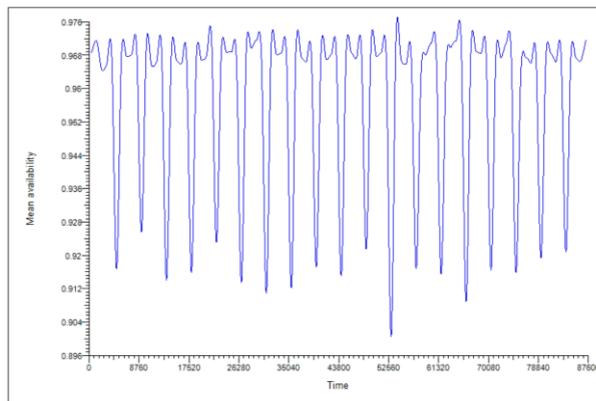
52

## Resultados

Baker Hughes



1. ¿Cuál es la disponibilidad media?
2. ¿Cuál es la capacidad media?
3. Clasificar los componentes según su importancia para la disponibilidad.
4. Clasificar los componentes según su importancia para la capacidad.
5. Observar el perfil de capacidad y disponibilidad.
6. Exportar/copiar los resultados del sistema de bloques (desde la vista de cuadrícula) a Excel.
7. Crear un Pareto para ver los principales Contribuidores al tiempo de parada.



GRINDING CIRCUIT

53

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



53

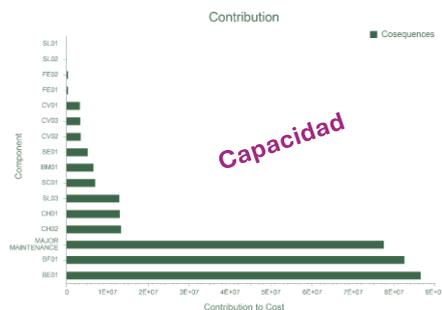
## Resultados

Baker Hughes

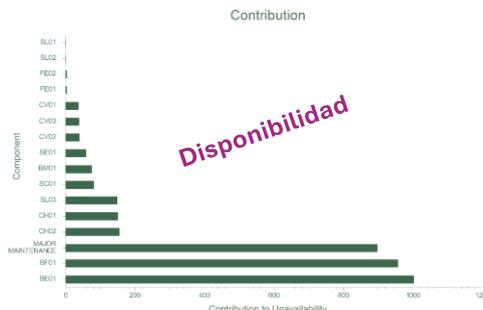


Capacidad Media: 3834 tph

Disponibilidad Media: 96%



**Gráfico:** Contribución al Costo (Capacidad)  
**Grilla:** Importancia de Capacidad o Importancia del Costo



**Gráfico:** Contribución a la Indisponibilidad  
**Grilla:** Importancia del Tiempo Total de Parada

54

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.

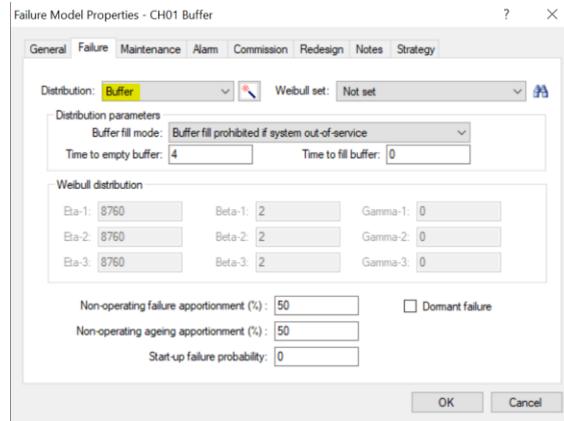


54

## Ejercicio de Molienda de Cemento: Agregar Impulso de Capacidad



- Para el ejemplo de molienda
  - CH01 contiene 4 horas de producto, 40 horas para llenar
  - CH02 contiene 8 horas de producto, 80 horas para llenar
  
- Incluir estos como buffers en el modelo
  - Simular a 10 años
    - ¿Cuál es la disponibilidad media?
    - ¿Cuál es la capacidad media?



55

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.

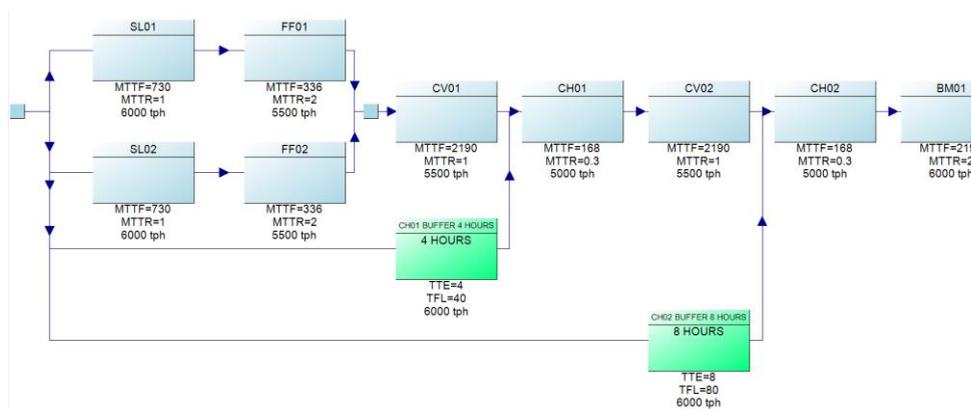


55

## Resultados



Capacidad Media: 3,839 tph  
Disponibilidad Media: 96.0%



56

#CMCMéxico2025

Copyright 2023 Baker Hughes Company. All rights reserved.



56



# iGracias!

*¿PREGUNTAS O COMENTARIOS?*

**Santiago Sotuyo Blanco**

Ingeniero Principal de Confiabilidad – Capacitación  
Cordant™ Soluciones, IET, Baker Hughes  
santiago.sotuyo@bakerhughes.com

Baker Hughes 