



CONGRESO DE MANTENIMIENTO & CONFIABILIDAD

★ CHILE ★



ORGANIZADO POR:



ASOCIACIÓN MEXICANA
DE PROFESIONALES EN
GESTIÓN DE ACTIVOS A.C.



PhD. MSc. Eng. Carlos Parra

Gerente General de **IngeCon**

Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad

Representante de INGEMAN Latinoamérica

www.confiabilidadoperacional.com

<https://www.linkedin.com/pulse/programa-preliminar-de-cursos-2018-ingeniería-y-gestión-carlos-parra/?published=t>

E-mail: parrac@ingecon.net.in

“Indicadores de Mantenimiento, alineados con los indicadores financieros del negocio”

28 de Junio, 2018

Cursos programados para Latinoamérica:

<https://www.linkedin.com/pulse/programa-preliminar-de-cursos-2018-ingeniería-y-gestión-carlos-parra/?published=t>

Certificación en español ICOGAM 2018, Miami 16 al 19 de Octubre:

https://lnkd.in/eS_qWuf



PATROCINADORES



**INGEMAN: Asociación para el
Desarrollo de la Ingeniería de
Mantenimiento, Sevilla, España**

www.ingeman.net



**Universidad de Sevilla
Escuela Superior de Ingenieros
Doctorado en Ingeniería de
Organización Industrial,
Sevilla, España**

<http://taylor.us.es/sim/index.php>

IngeCon

**IngeCon: Asesoría Integral en Ingeniería
de Confiabilidad,
Ciudad de Panamá, Panamá**

www.confiabilidadoperacional.com

CONTENIDO

- Introducción a los indicadores en el área de Mantenimiento
- Descripción de los indicadores técnicos y económicos más utilizados:
 - Tiempo promedio operativo hasta la falla (TPO = MTTF)**
 - ** Mean time to failure
 - Tiempo promedio fuera de servicio (TPFS = MDT)**
 - ** Mean down time
 - Índice de Disponibilidad (DT)
 - Índice de Costos por Indisponibilidad por fallas (CIF)
- Relación entre los índices técnicos del mantenimiento y los índices financieros del negocio (enfoque Norma EN 16646, Mant. en la Gestión de Activos)
- Discusión final

OBJETIVOS DEL MANTENIMIENTO

- Reducir la probabilidad de presencia de fallas (**confiabilidad**)
- Recuperar de forma rápida y eficiente la operabilidad de los sistemas, una vez que se ha producido la interrupción de la función (**mantenibilidad**)
- Minimizar el impacto por las consecuencias de los eventos de fallas (**costos por indisponibilidad**)

En términos generales una gestión eficiente del mantenimiento busca: mejorar la continuidad operacional (**disponibilidad**), maximizar la rentabilidad de los activos (**ganancias económicas**) y minimizar los riesgos sobre la seguridad, el ambiente y las operaciones a niveles tolerables (**consecuencias de los eventos de fallas**) a lo largo del ciclo de vida útil (EN 16646).

Primera parte

Discusión sobre los “Indicadores técnicos”

Indicadores técnicos (Confiabilidad): Tiempo promedio operativo (TPO (pm,cr))

$$\bullet \text{ TPO} = \sum_{i=1}^n \text{TO} / n = (\text{horas, días, semanas, meses, años})$$

TO = tiempos operativos hasta un pm: mant. Preventivo ó un cr: mant. Correctivo

n = número total de pm ó cr del período evaluado

TPO = MTTF (mean time to failure)

Este indicador representa la Confiabilidad expresada en tiempo

Recomendación/calcularlo a nivel:	Utilidad
•Componentes críticos (partes): sello, rodamiento... (ítem mantenible)	Planes de Mantenimiento
•Sistemas: bomba, intercambiador, horno....	Definir frecuencias de Fallas
•Planta: Destilación, Generación....	Planes de Producción

Indicadores técnicos (Confiabilidad): Frecuencia de Fallas (FF)

$$FF = 1 / TPO(cr) = 1 / (\text{tiempos operativos hasta fallar} / \# \text{ Fallas}) = (\text{Fallas/tiempo})$$

Este indicador representa la Confiabilidad expresada en número de fallas/tiempo

Recomendación/calcularlo a nivel:

Utilidad

•Componentes críticos (partes):
sello, rodamiento... (ítem mantenible)

Cantidad Fallas por parte

•Sistemas:
sistema

Cantidad Fallas por

bomba, intercambiador, horno....

•Planta:
Destilación, Generación....

Cantidad Fallas por planta

Indicadores técnicos (Confiabilidad): Tiempo promedio operativo hasta la falla (TPO(cr))

Ejemplos:

1. Componente: sello

TO(cr) (meses): 6, 5, 6, 7, 6

TPO(cr)(sello): 6 meses

2. Sistema: bomba

TO(cr) (meses): 6(sello), 3(rodamiento), 2(sello), 2(acople), 4(sello),
4(rodamiento), 3(sello), 4(acople), 2(sello)

TPO(cr) (bomba): 3.33 meses

3. Planta Destilación

TO(cr) (meses): 0.4(compresor), 0.6(horno), 1.5(inter cambiador), 0.5(horno),
0.7(torre), 1.3(torre), 1(bomba), 1.8(inter cambiador), 1.2(bomba),
1 (compresor), 1(bomba), 2(bomba), 1.6(horno), 2.4(bomba),
2(torre), 2(bomba), 1(horno), 2(bomba), 1.3(compresor),
0.7(inter cambiador), 2(bomba), 1(horno), 1(bomba)

TPO(cr) (Planta destilación): 1.36 meses

Indicadores técnicos (Confiabilidad): Frecuencia de Fallas (FF)

Ejemplos:

. Cálculos de Frecuencia de fallas por componente:

TPO(cr) (sello): 6 meses, TPO(cr) (rodamiento): 10.5 meses, TPO(cr) (acople): 14 meses,

FF (sello) = $1 / 6$ = 0.1666 fallas/mes = 2 fallas/año

FF (rodamiento) = $1 / 10.5$ = 0.095 fallas/mes = 1.14 fallas/año

FF (acople) = $1 / 14$ = 0.07 fallas/mes = 0.85 fallas/año

. Cálculos de frecuencias de fallas por sistema

TPO(cr) (bomba): 3.33 meses, TPO8cr) (compresor): 8.34 meses, TPO(cr) (horno): 5.8 meses,

TPO (intercambiador): 8.66 meses, TPO (torre): 6.33 meses

FF (bomba) = $1 / 3.33$ = 0.30 fallas/mes = 3.6 fallas/año

FF (compresor) = $1 / 8.34$ = 0.119 fallas/mes = 1.43 fallas/año

FF (horno) = $1 / 5.8$ = 0.172 fallas/mes = 2.06 fallas/año

FF (intercambiador) = $1 / 8.66$ = 0.115 fallas/mes = 1.38 fallas/año

FF (torre) = $1 / 6.33$ = 0.157 fallas/mes = 1.89 fallas/año

. Cálculo de frecuencia de fallas por planta

TPO(cr) (Planta destilación): 1.36 meses

FF (planta) = $1 / 1.36$ = 0.73 fallas/mes = 8.82 fallas/año

Indicadores técnicos (Mantenibilidad): Tiempo promedio fuera de servicio (TPFS(pm,cr))

$$\bullet \text{ TPFS} = \sum_{i=1}^n \text{TFS} / n = (\text{horas, días, semanas, meses})$$

TFS = tiempos fuera de servicio por: pm: mant. Preventivo ó cr: mant. correctivo

n = número total de: pm ó cr del período evaluado

TPFS = MDT (Mean Down Time)

Este indicador representa la Mantenibilidad	
Recomendación/calcularlo a nivel:	Utilidad
•Componentes críticos (partes): impacto	Definir alcance mto. e
sello, rodamiento...	por indisponibilidad / partes
•Sistemas:	Definir impacto por
indisponibi-	
bomba, intercambiador, horno....	lidad a nivel sistemas
•Planta:	Definir alcance mto. impacto
Destilación, Generación....	por indisponibilidad / planta

Indicadores técnicos (Mantenibilidad): Tiempo promedio fuera de servicio (TPFS(cr))

1. Calcular TPFS del sello:

TFS(cr)(horas): 7(sello), 6(sello), 8(sello), 7(sello), 6(sello)

TPFS(cr) (sello): 6.8 horas

2. Sistema: bomba

TFS(cr) (horas): 7(sello), 7(rodamiento), 6(sello), 3(acople), 8(sello),
6(rodamiento), 7(sello), 5(acople), 6(sello)

TPFS(cr) (bomba): 6.11 horas

3. Planta Destilación

TFS(cr) (horas): 12(compresor), 8(horno), 3(inter cambiador), 10(horno),
7(torre), 9(torre), 7(bomba), 4(inter cambiador), 7(bomba),
8(compresor), 6(bomba), 3(bomba), 6(horno), 8(bomba),
9(torre), 6(bomba), 7(horno), 7(bomba), 5(compresor),
4(inter cambiador), 5(bomba), 9(horno), 6(bomba)

TPFS(cr) (Planta destilación): 6.39 horas

Indicadores técnicos: Disponibilidad Total (DT)

$$DT = (TPO(pm+cr) / (TPO(pm+cr) + (TPFS(pm+cr))) \times 100\% = \%$$

Representa el porcentaje del tiempo disponible (de uso) del activo en un periodo determinado). Es una medida importante para estimar producción

Este indicador representa la Continuidad Operacional	
Recomendación/calcularlo a nivel:	Utilidad
•Componentes críticos (partes): sello, rodamiento...	Disponibilidad a nivel de partes (no es práctico)
•Sistemas: bomba, intercambiador, horno....	Decisiones a nivel de operaciones
•Planta: Destilación, Generación....	Decisiones a nivel gerencial

Cálculos de Disponibilidad Total (DT), Indisponibilidad por pm: I(pm), Indisponibilidad por cr: I(cr)

TPO(pm):	4 días
TPO(cr):	6 días
TPFS(pm):	1 día
TPFS(cr):	2 días
TTD:	30 días

DT : $(4+6) / ((4+6) + (1+2)) = (10 / 13) \times 100\% = 76.92\%$ para el período

Indisponibilidad total = $100 - 76.92 = 23.08\%$ para el período

**I(pm): $1 / ((4+6)+(1+2)) = (1 / 13) \times 100\% = 7.69\%$
(el mantenimiento preventivo representa el 33% del tiempo total indisponible)**

**I(cr): $2 / ((4+6)+(1+2)) = (2 / 13) \times 100\% = 15.39\%$
(el mantenimiento correctivo representa el 67% del tiempo total indisponible)**

Segunda parte

**Discusión sobre los
“Indicadores económicos y su
integración con los Indicadores
técnicos de mantenimiento”**

Indicadores de Costos: Costos de Indisponibilidad por Fallas (CIF)

- **Costos Indisponibilidad por fallas (CIF):**
 - **Incluye costos de penalización provocados por los eventos de fallas** (paros de plantas, diferimiento de producción, productos deteriorados, baja calidad, retrabajo, impacto en seguridad, ambiente, etc.)
 - **Se calcula en función de la frecuencia de fallas y los tiempos fuera de servicio**
 - **Se puede estimar a nivel de: componente, sistema y planta**
 - **Se estima en unidad monetaria por tiempo (dólares/año)**
- **Expresión de cálculo:**

$$CIF = FF \times TPFS \times CP = \text{dólares/año}$$

FF = frecuencia de fallas = fallas/año

TPFS = tiempo promedio fuera de servicio = horas/falla

CP = costos penalización por hora = dólares/hora

Indicadores de Costos: Costos de Indisponibilidad por Fallas (CIF)

Calcular los costos de indisponibilidad por fallas: $CIF = FF \times TPFS \times CP$

Datos:

$CP = 1000 \text{ \$/hora}$ (impacto pérdida de producción por hora de paro de planta de destilación)

- **CIF (Sello)**
 $FF = 2 \text{ fallas/año}$, $TPFS : 6.8 \text{ horas}$
 $CIF = 2 \text{ (fallas/año)} \times 6.8 \text{ (horas/falla)} \times 1000 \text{ (dólares/hora)}$
 $CIF = 13600 \text{ dólares/año}$
- **CIF (bomba)**
 $FF = 3.6 \text{ fallas/año}$, $TPFS : 6.11 \text{ horas}$
 $CIF = 3.6 \text{ (fallas/año)} \times 6.11 \text{ (horas/falla)} \times 1000 \text{ (dólares/hora)}$
 $CIF = 21996 \text{ dólares/año}$
- **CIF (Planta)**
 $FF = 8.82 \text{ fallas/año}$, $TPFS : 6.39 \text{ horas}$
 $CIF = 8.82 \text{ (fallas/año)} \times 6.39 \text{ (horas/falla)} \times 1000 \text{ (dólares/hora)}$
 $CIF = 56359.8 \text{ dólares/año}$

Discusión final

- Desarrollo de un proceso de medición y evaluación de los resultados que permita alinear los indicadores de mantenimiento con los indicadores claves del negocio (EN 16646)

Indicadores Financieros, (KPI's) claves de la dirección corporativa de la empresa, tales como: EBITDA, ROA, etc..... (vamos a tomar como ejemplo el EBITDA)

1. EBITDA= Earnings Before Interest Taxes Depreciation Amortization (Utilidad Antes de Intereses Impuestos Depreciaciones y Amortizaciones),

$$\text{EBITDA} = \text{UO} + \text{DA}$$

$$\text{UO} = \text{UB} - \text{GA} - \text{GV}$$

$$\text{UB} = \text{PV} - \text{CP}$$

$$\text{CP} = \text{CM} + \text{CO}$$

$$\text{EBITDA} = \text{PV} - \text{CM} - \text{CO} - \text{GA} - \text{GV} + \text{DA}$$

UO: Utilidad Operativa

DA: Depreciación/Amortización

UB: Utilidad bruta

GA: Gastos administración

GV: Gastos ventas

PV: Producto vendido

CP: Costos producción

CM: Costos mantenimiento

CO: Costos operación

$$\text{EBITDA} = \text{PV} - \text{CM} - \text{CO} - \text{GA} - \text{GV} + \text{DA}$$

DA: Depreciación/Amortización
GA: Gastos administración
GV: Gastos ventas
PV: Producto vendido
CM: Costos mantenimiento
CO: Costos operación

Producto vendido = Ingreso Potencial x Disponibilidad

TPO, TPFS,
DT, I

Costos = Costos Operación + Mtto. Preventivo + Mtto. Correctivo (indisponibilidad por fallas)

Indicadores técnicos Mantenimiento

- Tiempo promedio operativo (TPO=MTTF), Confiabilidad
- Frecuencia de fallas (FF) / Confiabilidad
- Tiempo promedio fuera de servicio (TPFS=MDT), Mantenibilidad
- Disponibilidad (DT), Indisponibilidad (I)

Indicadores costos Mantenimiento

- Costos Mantenimiento (preventivo, correctivo (costos de indisponibilidad por fallas: CIF))

TPO, FF, TPFS, CIF

Finalmente, un sistema de gestión de mantenimiento, capaz de registrar, evaluar e interpretar de forma organizada y objetiva, la información generada a partir de los indicadores básicos (TPO, FF, TPFS, Disponibilidad y CIF), permitirá que la organización pueda:

- ✓ **Desarrollar auditorías de seguimiento, control y toma de decisiones a partir del uso de sus propios indicadores (Benchmarking de mantenimiento (tanto interno como externo))**
- ✓ **Tomar decisiones acertadas con respecto al proceso integral de mejora del mantenimiento (disminuir el nivel de riesgo)**
- ✓ **Maximizar la efectividad (técnica) y la eficiencia (económica) de todas actividades de los procesos de gestión del mantenimiento**
- ✓ **Desarrollar actividades de mantenimiento bajo un enfoque: costo-riesgo-beneficio (alineadas e integradas con los objetivos del negocio), a lo largo del ciclo de vida útil del activo**

Gracias por su atención...

PhD. Carlos Parra
parrac37@yahoo.com
www.confiabilidadoperacional.com
www.ingeman.net

PhD. MSc. Eng. Carlos Parra



Gerente General de IngeCon
(Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)
Gerente Técnico de INGEMAN Latinoamérica
www.confiabilidadoperacional.com
www.ingeman.net
E-mail: parrac37@gmail.com

Gracias por su atención..... Preguntas.....

PhD. Carlos A. Parra.

Email: parrac@ingecon.net.in

Cursos programados para Latinoamérica:

<https://www.linkedin.com/pulse/programa-preliminar-de-cursos-2018-ingenieria-y-gestion-carlos-parra/?published=t>

Certificación en español ICOGAM 2018, Miami 16 al 19 de Octubre:

https://lnkd.in/eS_qWuf

Grupo LinkedIn de Ingeniería de Confiabilidad Operacional:

<https://www.linkedin.com/groups/4134220>

www.confiabilidadoperacional.com, www.ingeman.net

Grupo de investigación:

<http://taylor.us.es/sim/index.php>

IngeCon
Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad





PhD. MSc. Eng. Carlos Parra

Gerente General de IngeCon

(Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)

Gerente Técnico de INGEMAN Latinoamérica

www.confiabilidadoperacional.com

www.ingeman.net

E-mail: parrac37@gmail.com

***SI TIENES PREGUNTAS
O COMENTARIOS
¡No dudes en acercarte!***



- Crespo Márquez A, 2006. The maintenance management framework. Models and methods for complex systems maintenance. London: Springer Verlag.
- Jardine A, 1999. Measuring maintenance performance: a holistic approach. *International Journal of Operations and Production Management*, 19(7):691-715.
- Kaplan RS, Norton DP, 1992. The Balanced Scorecard - measures that drive performance. *Harvard Business Review*, 70(1): 71-9.
- Moubray J, 1997. Reliability Centred Maintenance (2nd ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Parra, C. 2006. On the consideration of reliability in the Life Cycle Cost Analysis (LCCA). A review of basic models. Safety and Reliability for Managing Risk. Guedes Soares & Zio (eds), Taylor & Francis Group, London, ISBN 0-415-41620-5, p.2203-2214
- Parra, C. 2008. “Implantación piloto de Mantenimiento Centrado en Confiabilidad (RCM) en la Llenadora de la Línea 10, Planta San Joaquín, Empresas Polar”, INGECON, Informe técnico: SN-09-10-CCS, Caracas, Venezuela.
- PARRA, Carlos y CRESPO, Adolfo. 2012. “Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos”. Editado por INGEMAN, España.
- UNE-EN 15341, 2007. Indicadores principales de desempeño de Mantenimiento. European Standard. CEN (European Committee for Standardization), AEN/CTN, INGEMAN, España.
- BSI PAS 55, 2008. Publicly Available Specification, London.

Ejemplo básico de cómo utilizar el indicador CIF en un proceso de toma de decisiones

Equipo 1

TPO: 4 meses
FF: 3 fallas/año
TPFS: 10 horas/falla

Costo equipo: 200.000 \$
Costos mantenimiento año: 10.000 \$/año
CP: 20.000 \$/hora

Vida útil 10 años

Equipo 2

TPO: 12 meses
FF: 1 falla/año
TPFS: 15 horas/falla

Costo equipo: 500.000 \$
Costos mantenimiento año: 20.000 \$/año
CP: 20.000 \$/hora

Vida útil 10 años

¿Cuál de los dos equipos considera usted que sería la mejor alternativa?

Resultados y análisis del indicador CIF

Equipo 1

FF: 3 fallas/año

CIF: **3 f/año x 10 horas** x 20.000 \$/hora

CIF: 600.000 \$/año

Costo equipo: 200.000 \$

Costo equivalente/año: 20.000 \$/año

Costos mantenimiento año:
10.000 \$/año

Costos totales por año:
630.000 \$/año

% (CIF/Costos totales): 95,2%

Equipo 2

FF: 1 falla/año

CIF: **1 f/año x 15 horas** x 20.000 \$/hora

CIF: 300.000 \$/año

Costo equipo: 500.000 \$

Costo equivalente/año: 50.000 \$/año

Costos mantenimiento año:
20.000 \$/año

Costos totales por año:
370.000 \$/año

% (CIF/Costos totales): 81,08%

RECOMENDACIONES SOBRE EL BENCHMARKING EN MANTENIMIENTO

Hay que tener mucho cuidado con la información que se presenta en la mayoría de los Benchmarking de tipo comercial. Antes de prestarle atención a los Benchmarking comerciales, verifique los siguientes aspectos:

- Empresas que participaron y entregaron la información sobre los indicadores a evaluar (tipo de procesos, sector industrial y condiciones de operación)
- Período de evaluación de recolección de los datos (fechas en las que se realizó el survey) y el origen de las ecuaciones utilizadas para el cálculo de indicadores

Recomendación final, antes de ponerse a buscar información de Benchmarking Internacional, primero desarrolle un proceso de Benchmarking Interno, defina los indicadores claves de su negocio y minimice la incertidumbre de los aspectos citados anteriormente (desarrolle internamente un proceso veraz de medición de indicadores y promueva forma eficiente un proceso de análisis y toma de decisiones basados en indicadores reales, esto es mucho mejor, que tratar de compararse con indicadores de Benchmarking de Mantenimiento Clase Mundial – mal desarrollados)

INFORMACIÓN DE CONTACTO

PhD. Carlos A. Parra M.
Gerente General de IngeCon
(Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)

www.confiabilidadoperacional.com

Email: parrac37@yahoo.com

Teléfono: +507 6416-0281

