



CONGRESO DE  
MANTENIMIENTO  
& CONFIABILIDAD  
CHILE

2<sup>a</sup>  
EDICIÓN

“Como hacer...”  
Aprende nuevas y útiles  
herramientas, métodos y técnicas.





## “Cómo justificar herramientas de la industria 4.0, aplicando técnicas de Análisis de Costos de Ciclo de Vida (ACCV)”

Gerente General de IngeCon  
(Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)  
Gerente Técnico de INGEMAN Latinoamérica

[www.confiabilidadoperacional.com](http://www.confiabilidadoperacional.com)

[www.ingeman.net](http://www.ingeman.net)

E-mail: [parrac@ingecon.net.in](mailto:parrac@ingecon.net.in)

[http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4134220&trk=groups management edit group info-h-logo](http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4134220&trk=groups+management+edit+group+info-h-logo)

- Aspectos básicos sobre las técnicas de Análisis de Costes de Ciclo de Vida (ACCV)
- Impacto de la Confiabilidad en el ACCV - revisión de modelos básicos:
  - Modelo tasa de fallas constante (Woodward)
  - Modelo de tasa de fallas determinístico (Fabrycky and Blanchard)
  - Modelo de tasa de fallas por distribución de Weibull (Willians and Scott)
- Casos de estudio. Aplicación del Modelo de Woodward para la evaluación de herramientas de Mantenimiento 4.0
- Limitaciones de los modelos evaluados
- Orientaciones futuras (líneas de investigación y desarrollo)
- Consideraciones finales



# PATROCINADORES



[www.ingeman.net](http://www.ingeman.net)



[Universidad de Sevilla](http://www.us.es)  
[Escuela Superior de Ingenieros](http://www.us.es)  
[Doctorado en Ingeniería de Organización Industrial](http://www.us.es)

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



<http://mga.usm.cl/>

IngeCon

Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad

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



- Entre los años 1990 - 1992, Woodward (1993), de la Universidad de Staffordshire (Inglaterra, Gran Bretaña), propone un modelo básico de análisis del impacto de la Confiabilidad.
- Año de 1992, dos investigadores de la Universidad de Virginia, Wolter Fabrycky y B.S. Blanchard, desarrollan un modelo de ACCV (ver detalles en Fabrycky *et al* (1993)), en el cual incluyen un proceso estructurado para calcular los costes de Confiabilidad - valores constantes de fallas por año.
- Año 1998, los ingenieros David Willians y Robert Scott de la firma consultora *RM-Reliability Group*, desarrollan un modelo de ACCV basado en la Distribución de Weibull para estimar la frecuencia de fallas y el impacto de los Costes de Confiabilidad, detalles en Willians *et al* (2000).
- Año 1999, el grupo asesor *The Woodhouse Partnership* - Proyecto Europeo EUREKA, línea de investigación MACRO (*Maintenance Cost/Risk Optimisation 'MACRO' Project*), desarrollan un software de ACCV denominado APT Lifespan, ver Riddell *et al* (2001) y Woodhouse (1999).
- Año 2000, *The Woodhouse Partnership* y el Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo (INTEVEP), ponen a prueba este modelo, evaluando los Costes de Ciclo de Vida 56 sistemas de compresión de gas, utilizados para la extracción del petróleo del Distrito San Tomé (Venezuela). Parra *et al*, (2001).
- En los últimos años, el área de investigación relacionada con el Análisis de Costes en el Ciclo de Vida, ha continuado su desarrollo, tanto a nivel académico como a nivel industrial. Adicionalmente, es importante mencionar, el desarrollo de Modelos Matemáticos para la simulación estocástica de modos de fallas reparables, tales como: (Modelos Markovianos, Simulación de Monte Carlos, POR - proceso ordinario de restauración, NHPP - proceso no homogéneo de Poisson y PGR- proceso generalizado de restauración). Modelos que van a permitir que en un futuro muy cercano, se pueda disminuir la incertidumbre en la estimación del impacto de la Confiabilidad en los costes totales del Ciclo de vida de un activo industrial.



Justificación del reemplazo:

- Obsolescencia (técnica - económica)
- Cambios en el contexto operacional
- costes elevados (operación - mantenimiento)
- Aspectos de logística (repuestos)
- Baja confiabilidad-disponibilidad
- Aspectos de seguridad/ambiente
- Tecnologías actuales de la industria 4.0
- Feeling.....



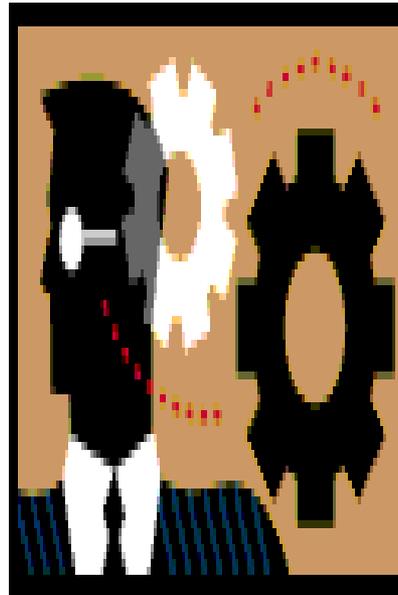
# ÁREAS DE INCERTIDUMBRE PARA SELECCIONAR ACTIVOS

1. Diferentes opciones (tipos, tamaños, costes, vida útil....).
2. El coste total del sistema no es visible, en particular aquellos costes asociados con la operación, mantenimiento y apoyo del sistema.
3. Inexactitudes en las estimaciones, predicciones y previsiones de costes (fluctuaciones de la economía – inflación).
4. Cambios de ingeniería durante el diseño y el desarrollo.
5. Cambios en la producción, operación y/o construcción del sistema.
6. Calidad deficiente de los insumos durante su uso.
7. Variación de los procesos de deterioro, desconocimiento de los fallas y sus probabilidades de ocurrencia (factor confiabilidad)???



# ¿ CUÁL ES EL MEJOR ACTIVO A SELECCIONAR ?

- Gastar menos (baja inversión inicial)
- Disminuir los costes de operación y mantenimiento
- Incrementar la vida útil

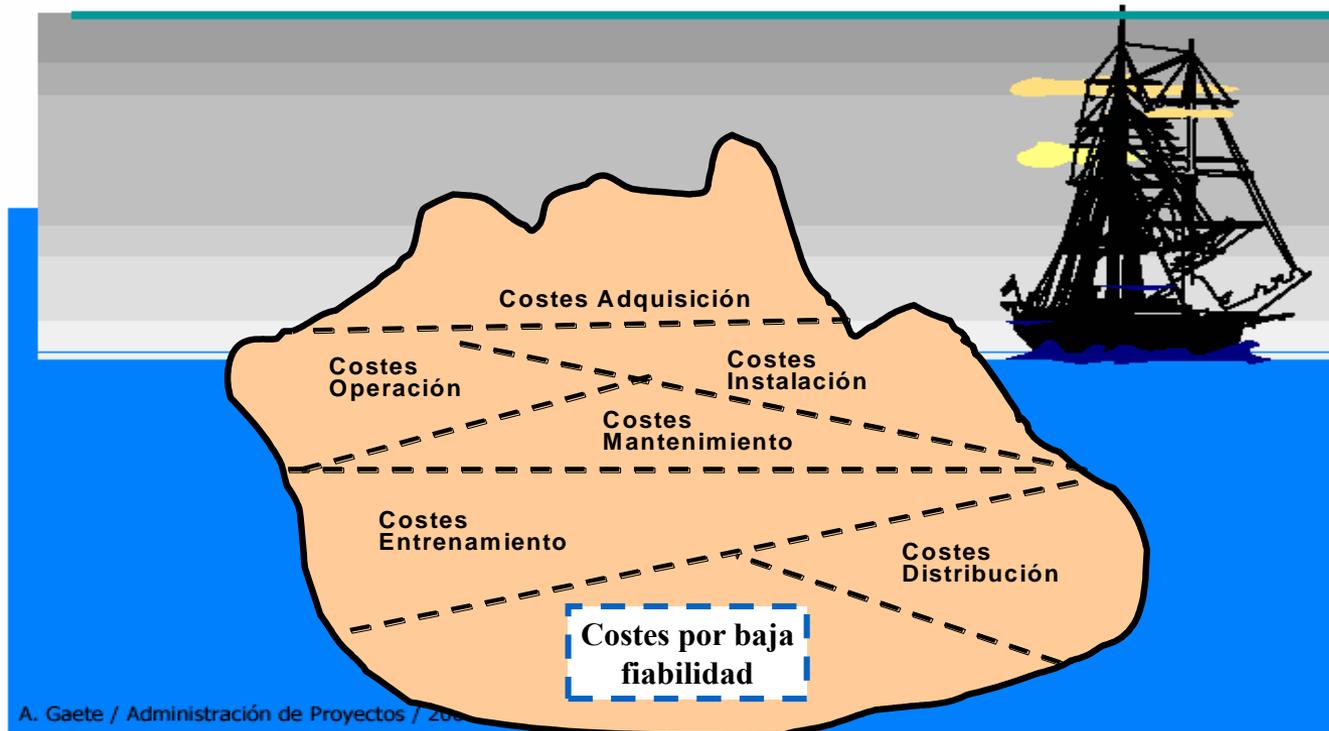


- Producir más
- Mayor Confiabilidad y Disponibilidad
- Mejorar la eficiencia de los activos
- Mejorar la calidad de los productos
- Incrementar la seguridad
- Cumplir regulaciones ambientales

## CONFLICTO ACTUAL EN EL PROCESO DE SELECCIÓN DE UN ACTIVO



# INCERTIDUMBRE EN LOS COSTES



# CONCEPTO BÁSICO DE ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA (ACCV)

- Woodhouse (1999), define el ACCV como un proceso sistemático de evaluación técnico - económica, aplicada en el proceso de selección y reemplazo de sistemas de producción, que **cuantifica** el impacto real de todos los costes (incluyendo los costes por fallas) a lo largo del ciclo de vida de los activos (\$/año).

*En términos generales la metodología de ACCV, nos permite seleccionar aquellos activos que generen los menores costes, ayudando de esta forma a maximizar la rentabilidad del proceso de producción.*

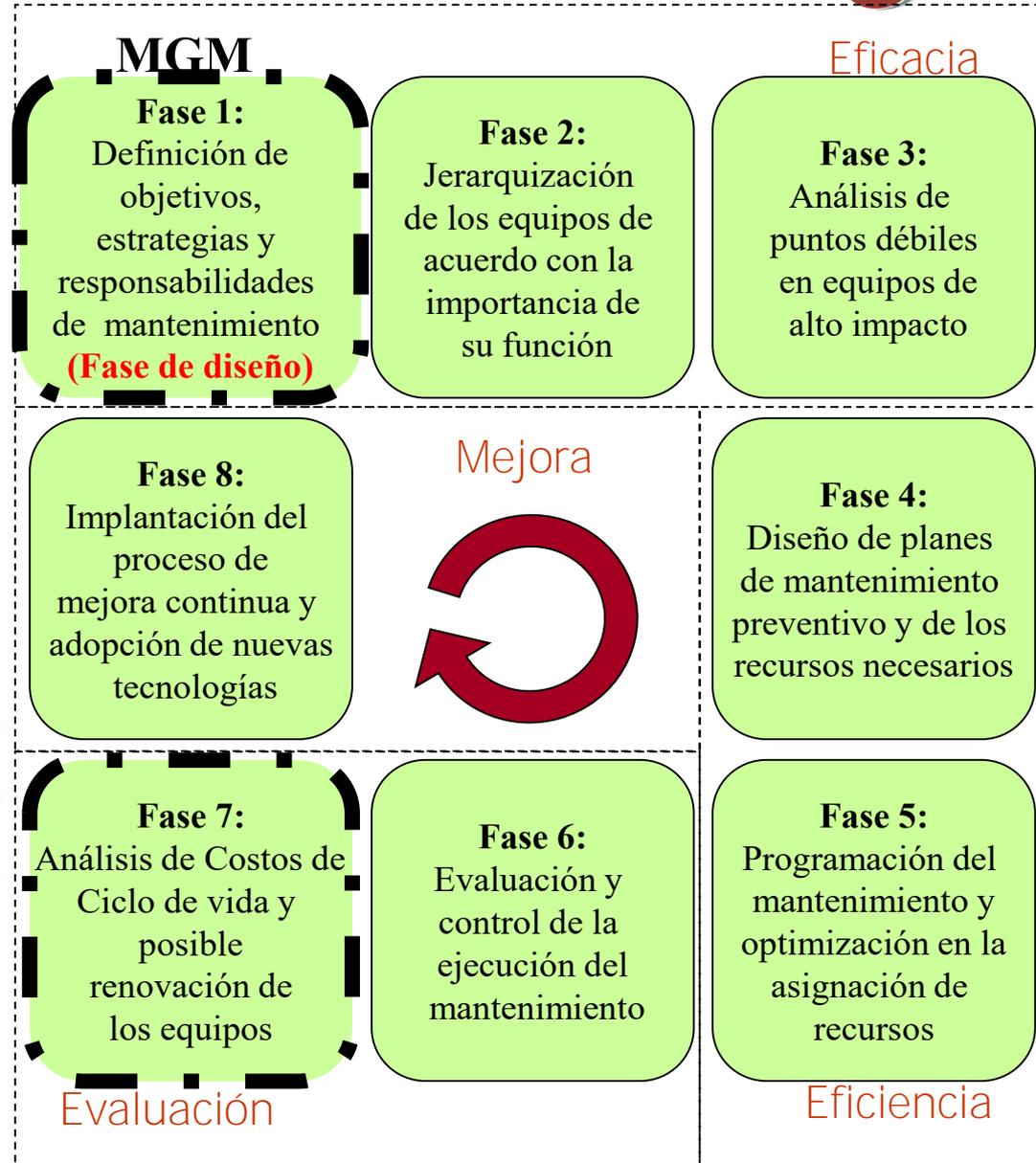


# INTEGRACIÓN DEL PROCESO DE ACCV DENTRO DE UN MODELO DE GESTIÓN DEL MANTENIMIENTO (MGM)

## Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad Aplicada en la Gestión de Activos

Desarrollo y aplicación práctica de un  
Modelo de Gestión del Mantenimiento  
(MGM)

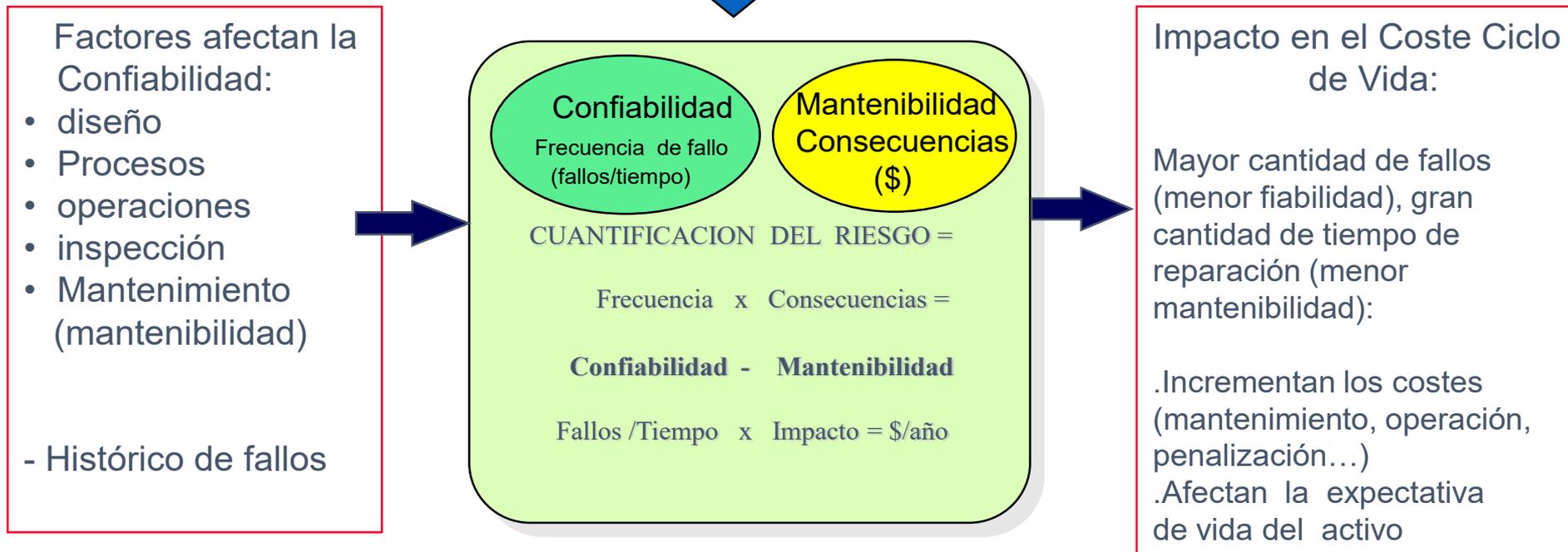
Carlos Alberto Parra Márquez  
Adolfo Crespo Márquez



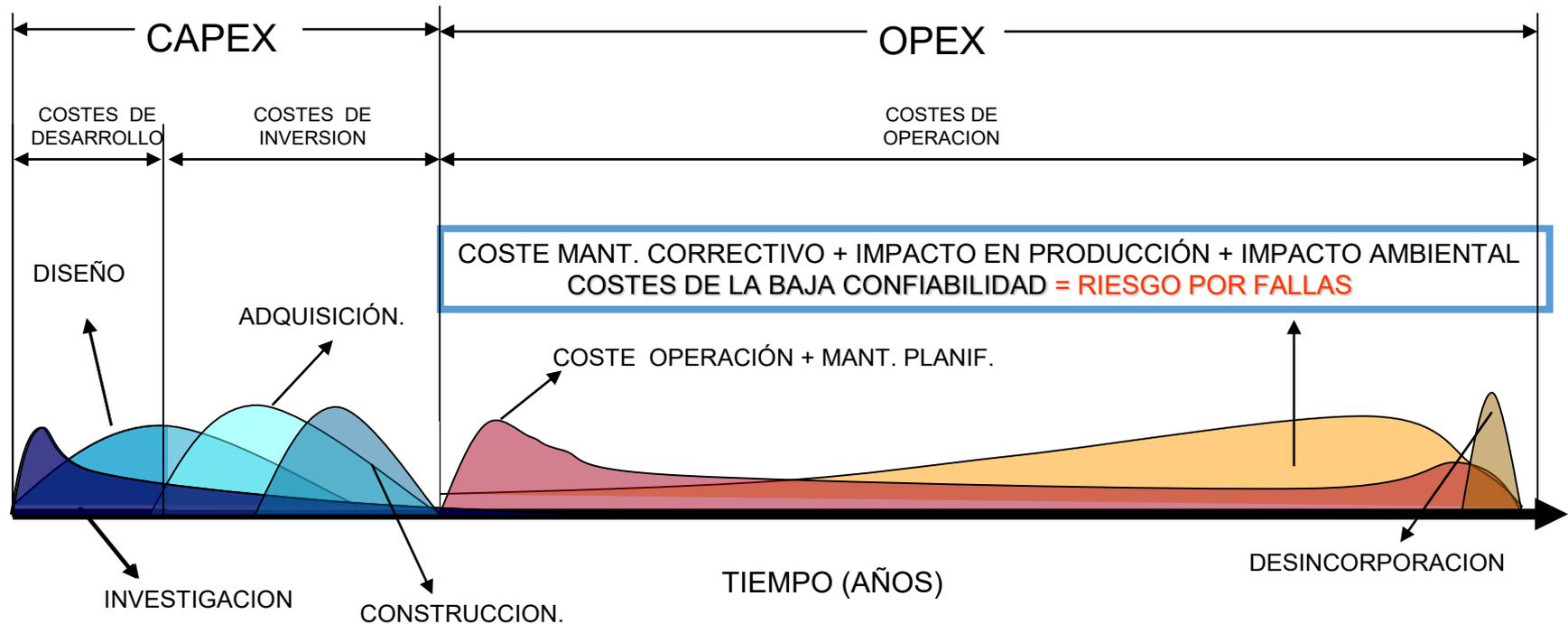
# IMPACTO DE LOS FACTORES CONFIABILIDAD Y MANTENIBILIDAD DENTRO DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA

RIESGO =

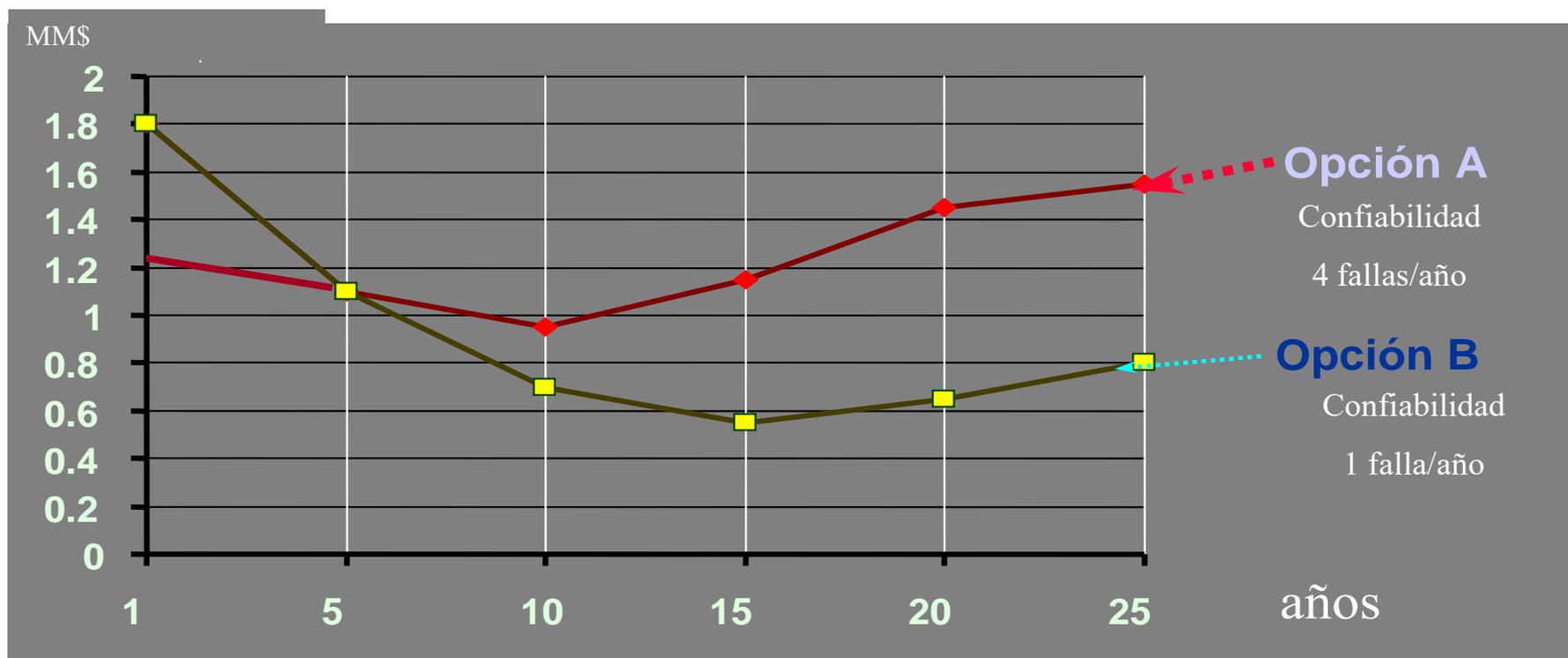
Posibilidad de ocurrencia de un evento que genera consecuencias que afectan el entorno (ambiente, personas, activos).



# VARIACIÓN DE COSTES A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA



**Metodología de ACCV:** Combina los análisis financieros tradicionales y la **evaluación del riesgo** (confiabilidad /frecuencias fallas x consecuencias de fallas) / Permite calcular el costo del activo a lo largo de su ciclo de vida, expresado en: dinero/tiempo (\$/año)



# METODOLOGÍA DE ACCV

## EXPRESIÓN GENERAL

$ACCV(P) = \Sigma \text{Costes en valor presente (P)} - \text{Valor de Reposición en valor presente(P)}$

$$ACCV(P) = \Sigma CI + CO + CMP + \text{TCPF} + CMM - VR$$

Para período de vida útil en años (n) y una tasa de descuento (i)

- CI = Coste inicial de adquisición e instalación, normalmente dado en valor Presente.
  - CO = Costes operacionales, normalmente dado como valor Anualizado\*\*.
  - CMP = Costes de Mantenimiento Preventivo, normalmente dado como valor Anualizado\*\*.
  - **TCPF = Costes Totales por “fallas - baja Confiabilidad”, normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallas constante, por lo cual el impacto en costes es igual en todos los años \*\*.**
  - CMM = Costes de Mantenimiento Mayor – Especiales, normalmente dado como valor Futuro\*\*.
  - VR = Valor de reposición, normalmente dado como valor Futuro\*\*.
- \*\* Todas las categorías de costes se convertirán a valor presente (P).



# COSTES TOTALES POR FALLAS TCPF , EXPRESIÓN GENERAL

TCPF = Costes totales por fallas – baja Confiabilidad/(\$/año). El coste total anualizado de penalización es la sumatoria del producto entre el coste de penalización por año (paros de plantas, diferimiento de producción, productos deteriorados, baja calidad, retrabajo) por el número de eventos de fallas inesperadas:

$$TCPF = \sum_{i=1}^m (\delta_f \times (TPPR \times C_f))$$

$\delta_f$  = frecuencia de ocurrencia de cada modo de falla para el año n =  
fallas/año - (factor Confiabilidad)

TPPR = tiempo promedio para reparar = horas

$C_f$  = Costes Mant. No Plan. + Costes Penal. = \$/hora - (factor  
mantenibilidad).

m = número de modos de fallas que ocurren al año.



# COSTES TOTALES POR FALLAS, TCPF MODELOS BÁSICOS

TASA DE FALLAS CONSTANTE (WOODWARD)	TASA DE FALLAS DETERMINÍSTICO (FABRYCKY & BLANCHARD)	TASA DE FALLAS POR DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL (WILLIAMS & SCOTT)
<p>N = número total de fallas T = número total esperado de años de vida útil <math>\delta_f</math> = frecuencia de fallas para cada año – valor constante para el total de años T</p> $\delta_f = \frac{N}{T}$	<p><math>\delta_{ft}</math> = número de fallas para cada año (t) correspondiente, desde t = 1 año hasta T (número total esperado de años de vida útil)</p> $\delta_{ft} = \delta_{f(1)} \dots\dots\dots \delta_{f(T)}$	<p><math>\delta_f</math> = frecuencia de fallas para cada año – valor constante para el total de años T MTTF = tiempo promedio entre fallas calculado con la Distribución de Weibull</p> $\delta_f = \frac{1}{MTTF}$ $MTTF = \mu = \alpha \times \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)$
$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f \times \delta_f$	$TCP_f = C_{f(1)} \times \delta_{f(1)} \dots C_{f(T)} \times \delta_{f(T)}$	$TCP_f = \sum_{f=1}^F C_f \times \delta_f$

(TPO = MTTF)



## **Modelo de Tasa de Fallos Constante (Woodward, 1997):**

Este modelo propone que se consideren frecuencias de fallas constantes a lo largo del ciclo de vida del activo, lo cual, en la realidad no ocurre de esta manera, ya que normalmente, la frecuencia de fallas cambia a medida que van pasando los años por la influencia de diferentes factores (operaciones, mantenimiento preventivo, calidad de materiales, procesos de deterioro, etc.).

## **Modelo de Tasa de Fallos Determinístico (Fabrycky and Blanchard, 1993):**

Este modelo es un poco más realista que el anterior, ya que exige al diseñador que identifique patrones de comportamiento de frecuencia de fallas de los sistemas que está evaluando, aunque sigue siendo un modelo básico ya que la estimación de la frecuencia de fallas es totalmente determinista y depende directamente de la capacidad del diseñador en conseguir buena información, sobre el comportamiento de los diferentes tipos de fallas que pueden ocurrir en los sistemas a evaluar. La principal limitación de este método está asociada con el proceso de toma de información de frecuencia de fallas. En el caso de que la calidad de los datos estadísticos de fallas recopilados no sea buena, es muy probable que no se hagan estimaciones de costes reales y se puedan tomar decisiones equivocadas en el proceso de selección de activos.

## **Modelo de Tasa de Fallos por Distribución de Weibull (Willians and Scott, 2000):**

Este modelo estima el valor esperado de variable tiempo operativo hasta la falla - MTTF) en función de la distribución de Weibull. A partir del cálculo del MTTF, el modelo cuantifica la frecuencia de fallas por año y los costes de estas fallas. Las principales limitaciones de este método son:

- El impacto de costes anuales por fallas se mantiene constante a largo de cada uno de los años de vida útil esperada del activo.
- El modelo restringe el análisis de Confiabilidad, exclusivamente al uso de la distribución de Weibull, excluyendo otras distribuciones estadísticas existentes tales como: Log Normal, Exponencial, Gamma, etc., las cuales también podrían ser utilizadas para calcular los MTTF y las frecuencias de fallas.



## CASOS PRÁCTICOS:

- **Caso práctico. Modelo de Woodward (teórico)**

**Ejercicio a proponer a los participantes (utiizar la hoja en Excel)**



# EJERCICIO PROPUESTO. ACCV (MODELO DE WOODWARD). TASA DE FALLAS CONSTANTE

## Utilizar la hoja en Excel.

Seleccione la mejor propuesta de las siguientes dos opciones:

### Opción 1:

Activo: Sistema de compresión Tipo A

Tipos Costes	Frecuencia	Costes
		\$
Operacionales	Anuales	20.000
Mant. Preventivo	Anuales	3.120
Mant. Mayor	3 años	10.000
Reposición		0

Inversión inicial: 450.000\$

Vida útil esperada: 15 años

Tasa de interés: 10%

Datos de Confiabilidad y Mantenibilidad (diseño):

- Tiempo promedio de operación: 8 meses
- Frecuencia de fallas: 1,5 fallas/año
- Tiempo promedio de reparación: 20 horas
- Costes de penalización por fallas inesperadas: 1.000\$/hora
- Costes del mant. no planificado: 100\$/hora

### Opción 2:

Activo: Sistema de compresión Tipo B

Tipos Costes	Frecuencia	Costes
		\$
Operacionales	Anuales	10.000
Mant. Preventivo	Anuales	3.400
Mant. Mayor	3 años	5.000
Reposición		0

Inversión inicial: 300.000\$

Vida útil esperada: 15 años

Tasa de interés: 10%

Datos de Confiabilidad y Mantenibilidad (diseño):

- Tiempo promedio de operación: 2 meses,
- Frecuencia de fallas: 6 fallas por año
- Tiempo promedio de reparación: 10 horas
- Costes de penalización por fallas inesperadas: 1000\$/hora
- Costes del mant. no planificado: 100\$/hora



# CÁLCULO DE CTPF: COSTES TOTALES POR FALLAS

Opción 1:

Activo: Sistema de compresión Tipo A

Costes totales por Confiabilidad (CTPF) =

$CTPF = \# \text{ fallas/año} \times TPRR \times (\text{Costes Mant. No Plan.} + \text{Costes Penal.}) =$

CTPF =

Opción 2:

Activo: Sistema de compresión Tipo B

$CTPF = \# \text{ fallas/año} \times TPRR \times (\text{Costes Mant. No Plan.} + \text{Costes Penal.}) =$

CTPF =



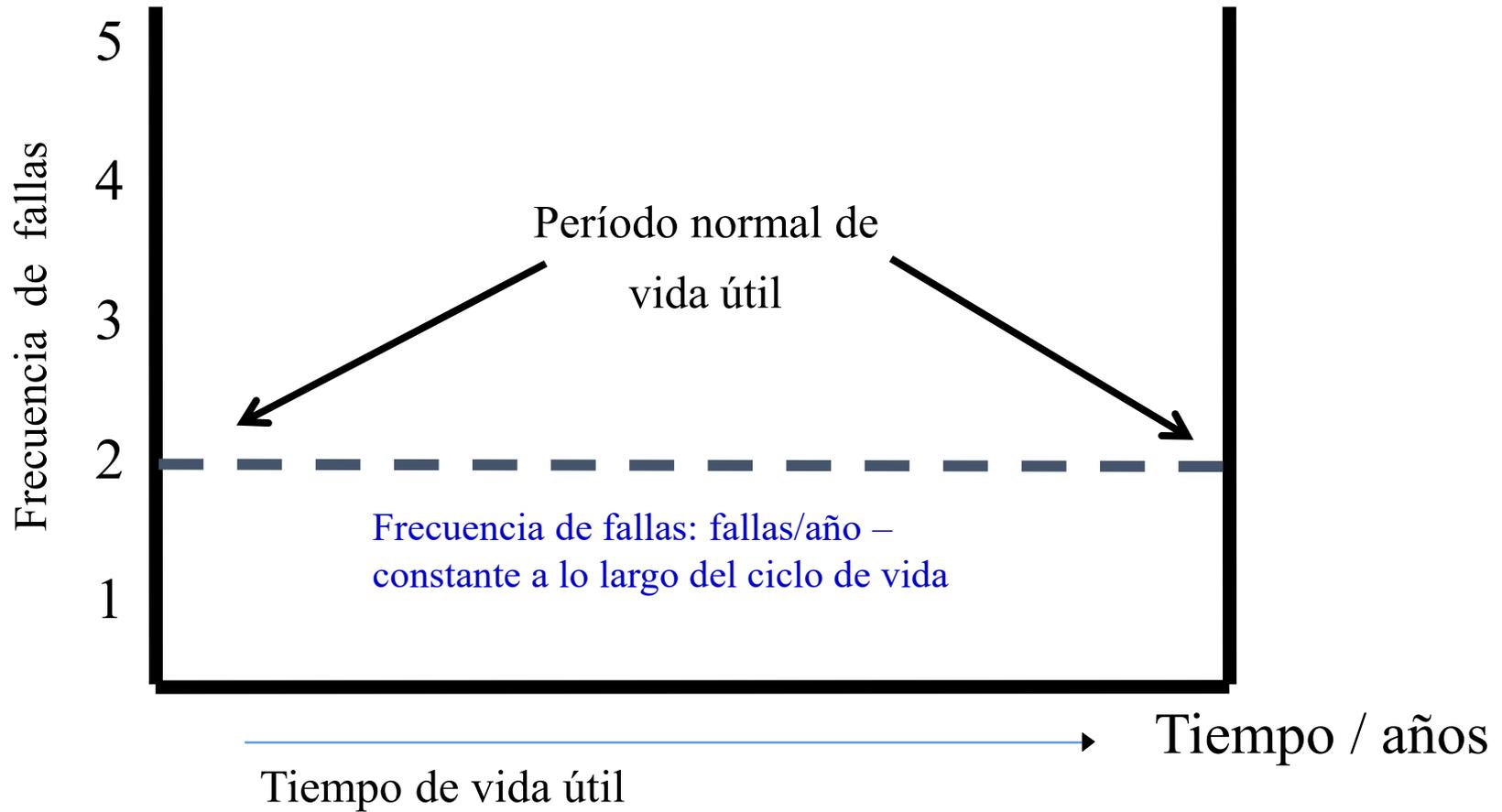
# COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS EVALUANDO EL IMPACTO DE ECONÓMICO DE LAS FALLAS



Factores Evaluados	Alternativa 1	Alternativa 2
<b>Total Costes en Valor Presente</b> ACCV(P) =		
<b>Total Costes en Valor Equivalente Anual</b> ACCV(A) =		
<b>Inversión inicial =</b>		
<b>Costes Operacionales(P) =</b>		
<b>Costes Mant. Preventivo(P) =</b>		
<b>Costes totales por Confiabilidad(P) =</b>		
<b>Costes Mant. Mayor(P)=</b> n=3		
<b>Costes Mant. Mayor(P)=</b> n=6		
<b>Costes Mant. Mayor(P)=</b> n=9		
<b>Costes Mant. Mayor(P)=</b> n=12		
<b>Valor de Reposición (P) =</b>		
<b>% Costes por Confiabilidad sobre los Costes totales en valor presente =</b>		



# CASO BÁSICO: TASA DE FALLAS CONSTANTE



## CASOS PRÁCTICOS:

- **Casos 1 y 2. Aplicación de las técnicas de ACCV para evaluar la introducción de tecnologías de la industria 4.0.**



## **CASO DE ESTUDIO 1: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN “PTS1”. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 320 MMCFD)**

### Opción 1:

3 moto-compresores Caterpillar/Ariel (configuración 3 de 3, 60% del tiempo) para cubrir la demanda de transporte de gas de 320 MMCFD. En este caso al perder una unidad Caterpillar/Ariel, se producirá penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 120 MMCFD/unidad, potencia: 3.600 hp/unidad, pérdida de producción por perder un equipo: 18.750 \$/hora).

**\*\*Se incluyen sistemas básicos de monitorización en línea de las variables más importantes.**

### Opción 2:

2 compresores rotativos MOPICO (configuración 2 de 2, 60% del tiempo) para cubrir la demanda de transporte gas de 320 MMCFD. En este caso al perder una unidad MOPICO, se generará penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 270 MMCFD/unidad, potencia: 13.410 hp/unidad, pérdida de producción por perder un equipo: 28.125 \$/hora).

**\*\*Se incluye un sistema integral de herramientas de la industria 4.0: digitalización y monitorización en línea.**



**CASO DE ESTUDIO 1: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN “PTSI”. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 320 MMCFD)**

<b>Datos</b>	<b>Opción 1 Caterpillar/Ariel</b>	<b>Opción 2 MOPICO</b>
<b>CI: coste inicial (inversión)</b>	52.656.000 \$	57.086.400 \$** <i>** (Aprox. 4.000.000 \$, tecnologías de la Industria 4.0)</i>
<b>CO: costes operacionales (anual)</b>		
<b>Operaciones</b>	1.704.594 \$/año	848.500 \$/año
<b>Lubricantes</b>	131.701 \$/año	0 \$/año
<b>Consumibles</b>	459.680 \$/año	89.334 \$/año
<b>Energía</b>	3.898.383 \$/año	2.524.000 \$/año
<b>CMP: costes de mantenimiento preventivo (anual)</b>	643.850 \$/año	343.650 \$/año
<b>CMM: costes de overhaul (mantenimiento mayor) (futuro)</b>	2.162.162 \$, año 5 2.270.270 \$, año 10 2.383.784 \$, año 15 2.502.973 \$, año 20	450.000 \$, año 5 472.500 \$, año 10 496.125 \$, año 15 520.931 \$, año 20
<b>i: tasa de interés</b>	16%	16%
<b>T: periodo de vida útil esperada</b>	20 años	20 años

Datos Económicos. Caso 1.



**CASO DE ESTUDIO 1: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN “PTSI”. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 320 MMCFD)**

<b>Resultados</b>	<b>Opción 1 Caterpillar/Ariel</b>	<b>Opción 2 MOPICO</b>
<i>TCP<sub>f</sub></i> : costes totales por fallos por año (\$/año)	24.619.807,3 \$/año	2.031.052,5 \$/año
<i>PTCP<sub>f</sub></i> : costes totales en valor presente (\$) Para (i=16%, T=20 años)	145.966.960,5 \$	12.041.787,1 \$

Resultados de los costes por fallos.



# CASO DE ESTUDIO 1: SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN “PTSI”. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 320 MMCFD)

Resultados	Opción 1 Caterpillar/Ariel	Opción 2 MOPICO
CI: coste inicial (inversión)	52.656.000 \$	57.086.400 \$ <i>** (Aprox. 4.000.000 \$, tecnologías de la Industria 4.0)</i>
CO: costes operacionales (valor presente)		
Operaciones	10.106.266,62 \$	5.030.621,5 \$
Lubricantes	780.834,27 \$	0 \$/año
Consumibles	2.725.369,58 \$	529.647,07 \$
Energía	23.112.892,57 \$	14.964.394,4 \$
CMP: costes de mantenimiento preventivo (valor presente)	3.817.284,21 \$	2.037.446,18 \$
CMM: costes de overhaul (mantenimiento mayor) (valor presente)	1.029.433,47 \$, año 5 514.632,98 \$, año 10 257.274,68 \$, año 15 128.616,40 \$, año 20	214.250,85 \$, año 5 107.108,00 \$, año 10 53.545,28 \$, año 15 26.768,27 \$, año 20
i: tasa de interés	16%	16%
T: periodo de vida útil esperada	20 años	20 años
PTCPf (P): costes totales por fallos en valor presente	145.966.960,5 \$	12.041.787,1 \$
CTCV(P): Costes Totales de Ciclo de Vida en valor presente, i: 16%, T: 20 años	241.095.525,4 \$	92.091.968,74 \$
PTCPf (P) / CTCV(P) = % (costes totales por fallos en presente / costes totales de ciclo de vida en presente)	61%	13%

Resultados totales del ACCV. Caso 1. Escenario 1 (con penalización por producción)



**RESUMEN DE RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO 1:  
SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN  
“PTSI”. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR  
PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 320  
MMCFD)**

<b>Resultados</b>	<b>Opción 1 Caterpillar/Ariel</b>	<b>Opción 2 MOPICO Mejor opción</b>
CI: coste inicial (inversión)	52.656.000 \$	<b>57.086.400 \$</b> <i>** (Aprox. 4.000.000 \$, tecnologías de la Industria 4.0)</i>
PTCPf (P): costes totales por fallos en valor presente	145.966.960,5 \$	<b>12.041.787,1 \$</b>
CTCV(P): Costes Totales de Ciclo de Vida en valor presente, i: 16%, T: 20 años	241.095.525,4 \$	<b>92.091.968,74 \$</b>
PTCPf (P) / CTCV(P) = % (costes totales por fallos en presente / costes totales de ciclo de vida en presente)	61%	<b>13%</b>

Resultados totales del ACCV. Caso 1. Escenario 1 (con penalización por producción)



**RESUMEN DE RESULTADOS DEL CASO DE ESTUDIO 1:  
SELECCIÓN DEL SISTEMA DE COMPRESIÓN. ESTACIÓN  
“PTSI”. ESCENARIO 1: CON PENALIZACIÓN POR  
PRODUCCIÓN (DEMANDA DE TRANSPORTE DE GAS: 320  
MMCFD)**

Analizando los resultados económicos obtenidos en el ACCV (tabla 4), **la opción 2, sistema de compresión MOPICO que incluye herramientas integrales de diagnóstico y análisis de fallas de la Industria 4.0, se convierte en la mejor alternativa económica**, comparada con la opción 1 (sistema de compresión Caterpillar/Ariel). **El porcentaje de costos adicionales por agregar herramientas de digitalización y monitorización inteligente es del 14,2% del costo total de inversión inicial del sistema de Compresión MOPICO.** La diferencia económica entre ambas opciones es de **149.003.556,60 \$** (esta cantidad representa el potencial ahorro por seleccionar la opción del sistema de compresión MOPICO). Un aspecto de vital importancia a ser considerado en este análisis, está relacionado con la evaluación de los costes totales por fallos (PTCPf), al incluir esta categoría de costes en el proceso de evaluación económica, la misma se convierte en el factor económico de mayor peso dentro del proceso de comparación de las dos alternativas evaluadas (**la posible minimización de los costes totales por fallos, están relacionados en gran medida, por el uso eficiente que se le debe dar, a las herramientas de monitorización y diagnóstico inteligente propuestas por la Industria 4.0, incluidas en el sistema de compresión MOPICO**).

**En resumen, la opción 2 (sistema de compresión MOPICO), la cual resultó ganadora en el ACCV, la categoría de costes por fallos (PTCPf) sólo representa el 13% de los costes totales de ciclo de vida, en comparación, con la opción 1 (sistema de compresión Caterpillar/Ariel), en la cual, la categoría de costes por fallos (PTCPf) representa el 61% de los costes totales de ciclo de vida.**

Análisis de los resultados totales del ACCV. Caso 1.  
Escenario 1 (con penalización por producción)



## **CASO DE ESTUDIO 2: COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN TRADICIONAL CON EQUIPOS PORTÁTILES (ESCENARIO ACTUAL) VERSUS EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN INTELIGENTE – HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0 (ESCENARIO FUTURO)**

**Información general del escenario a evaluar: Estación de Compresión Ventanas. Configuración: moto-compresores Caterpillar Ariel (4 de 5). Sin penalización por producción. Se estima una demanda de transporte de gas en la estación de Compresión Ventanas de: 390 MMCFD.**

**Opción 1: Monitorización tradicional con equipos portátiles a los moto-compresores Caterpillar/Ariel (configuración 4 de 5, estación Ventanas, situación actual: grupo de mantenimiento por condición de T-ENERGY, haciendo análisis con equipos y herramientas portátiles). En este caso al perder una unidad Caterpillar/Ariel, no se producirá penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 120 MMCFD/unidad, potencia: 3.600 hp/unidad). Para este caso, se tomó como referencia la siguiente frecuencia de monitoreo: 4 monitoreos/año, 3 horas de monitoreo y 6 horas de análisis por máquina (180 horas/año de CBM x 5 máquinas).**

**Opción 2: Monitorización inteligente (incluyendo equipos de digitalización y análisis inteligente de las variables críticas) a los moto-compresores Caterpillar/Ariel (configuración 4 de 5, estación Ventanas, situación futura: introducir todo un sistema de monitorización en línea de apoyo al grupo de mantenimiento por condición de T-ENERGY). En este caso al perder una unidad Caterpillar/Ariel, no se producirá penalización por falta de transporte de gas (capacidad promedio por día 120 MMCFD/unidad, potencia: 3.600 hp/unidad).**



# CASO DE ESTUDIO 2: COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN TRADICIONAL CON EQUIPOS PORTÁTILES (ESCENARIO ACTUAL) VERSUS EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN INTELIGENTE – HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0 (ESCENARIO FUTURO)

## Datos económicos generales:

Datos	Opción 1 Monitorización con equipos portátiles (Wind Rock)	Opción 2 Monitorización en línea (tecnología Wind Rock - ABB para 5 máquinas)
<b>CI: coste inicial (adquisición equipos portátiles para la opción 1 y adquisición e instalación de los sistema de captura de datos en línea para la opción 2)</b>	147.205,00 \$	698.425,00 \$
<b>CO: costes operacionales (anual)</b>		
Operaciones	10.844,00 \$/año	8.601,00 \$/año
Lubricantes		
Consumibles	685,00 \$/año	
Energía		
<b>CMP: costes de mantenimiento preventivo (anual)</b>	5.800,00 \$/año	800.00 \$/año
<b>CMM: costes de overhaul (futuros)</b>		
Reemplazo de acelerómetros	2.500,00 \$, año 2	
Repotenciación (+10% del costo de adquisición)	161.926,00 \$, año 5	
Mant.-Actualiz.- 3 años		6.666,00, año 3
Mant.-Actualiz.- 5 años		3.330,00, año 5
<b>i: tasa de interés</b>	16%	16%
<b>T: periodo de vida útil esperada</b>	10 años	10 años



## CASO DE ESTUDIO 2: COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN TRADICIONAL CON EQUIPOS PORTÁTILES (ESCENARIO ACTUAL) VERSUS EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN INTELIGENTE – HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0 (ESCENARIO FUTURO)

<b>Resultados</b>	<b>Opción 1 Monitorización tradicional con equipos portátiles (Wind Rock)</b>	<b>Opción 2 Monitorización inteligente (Wind Rock – ABB para 5 máquinas)</b>
<b><math>TCP_f</math> : costes totales por fallos por año (\$/año)</b>	<b>26.557,31 \$</b>	<b>18.415,26 \$</b>
<b><math>PTCP_f</math> : costes totales en valor presente (\$) Para (i=16%, T=10 años)</b>	<b>128.357,53 \$</b>	<b>89.005,14 \$</b>

Resultados de los costes por fallos. Caso 2.



## CASO DE ESTUDIO 2: COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN TRADICIONAL CON EQUIPOS PORTÁTILES (ESCENARIO ACTUAL) VERSUS EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN INTELIGENTE – HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0 (ESCENARIO FUTURO)

Resultados	Opción 1 Monitorización tradicional con equipos portátiles (Wind Rock)	Opción 2 Monitorización inteligente (tecnología Wind Rock - ABB para 5 máquinas)
CI: coste inicial (inversión)	147.205,00 \$	698.425,00 \$
CO: costes operacionales (anual)		
Operaciones	52.411,51 \$	41.570,58 \$
Lubricantes		
Consumibles	3.310,76 \$	
Energía		
CMP: costes de mantenimiento preventivo (anual)	28.032,71 \$	3.866,58 \$
CMM: costes de overhaul (futuros)		
Reemplazo de acelerómetros	1.857,90 \$, año 2	
Repotenciación (10% del costo de adquisición)	77.095,076 \$, año 5	
Mantenimiento de 3 años		4.270,62 \$, año 3
Mantenimiento de 5 años		1.585,45 \$, año 5
i: tasa de interés	16%	16%
T: periodo de vida útil esperada	10 años	10 años
PTCPf (P): costes totales por fallos en valor presente	128.357,53 \$	89.005,14 \$
CTCV(P): Costes Totales de Ciclo de Vida en valor presente, i: 16%, T: 20 años	438.270,52 \$	838.723,39 \$
PTCPf (P) / CTCV(P) = % (costes totales por fallos en presente / costes totales de ciclo de vida en presente)	29,29%	10,61%

Resultados totales de ACCV. Caso 2.

**CASO DE ESTUDIO 2: COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN TRADICIONAL CON EQUIPOS PORTÁTILES (ESCENARIO ACTUAL) VERSUS EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN INTELIGENTE – HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0 (ESCENARIO FUTURO)**

<b>Resultados</b>	<b>Opción 1 Monitorización tradicional con equipos portátiles (Windrock) Mejor Opción</b>	<b>Opción 2 Monitorización inteligente en línea (tecnología Windrock - ABB para 5 máquinas)</b>
CI: coste inicial (inversión)	<b>147.205,00 \$</b>	698.425,00 \$
PTCPf (P): costes totales por fallos en valor presente	<b>128.357,53 \$</b>	89.005,14 \$
CTCV(P): Costes Totales de Ciclo de Vida en valor presente, i: 16%, T: 20 años	<b>438.270,52 \$</b>	838.723,39 \$
PTCPf (P) / CTCV(P) = % (costes totales por fallos en presente / costes totales de ciclo de vida en presente)	<b>29,29%</b>	10,61%

Resumen de los Resultados totales de ACCV. Caso 2.



## CASO DE ESTUDIO 2: COMPARACIÓN ENTRE EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN TRADICIONAL CON EQUIPOS PORTÁTILES (ESCENARIO ACTUAL) VERSUS EL PROCESO DE MONITORIZACIÓN INTELIGENTE – HERRAMIENTAS DE LA INDUSTRIA 4.0 (ESCENARIO FUTURO)

Analizando los resultados económicos obtenidos en el ACCV (tabla 12), **la opción 1 (Monitorización tradicional con equipos portátiles (Windrock)) se convierte en la mejor alternativa económica** comparada con la opción 2 (Monitorización inteligente en línea (herramientas de la Industria 4.0 - tecnología Windrock - ABB)). La diferencia económica entre ambas opciones es de **400.452,87 \$** (esta cantidad representa el potencial ahorro por seleccionar la opción 1). En resumen, la opción 1 (**Monitorización tradicional con equipos portátiles (Windrock)**), la cual resultó ganadora en el ACCV, la categoría de costes por fallos (*PTCPf*) es un poco mayor con respecto a la opción 2 y representa el 29,29% de los costes totales de ciclo de vida, en comparación, con la opción 1 (sistema de monitorización en línea (tecnología Windrock)), en la cual, la categoría de costes por fallos (*PTCPf*) representa el 10,61% de los costes totales de ciclo de vida (a pesar que los costes por fallos de la opción 2 son menores con respecto a la opción 1, en términos de costes totales de ciclo de vida, la opción 1 (**Monitorización tradicional con equipos portátiles (Windrock)**) representa la mejor alternativa técnico - económica.

**En resumen, se recomienda mantener el escenario actual (Monitorización tradicional con equipos portátiles (Windrock)) y no invertir en el proceso de monitorización inteligente (herramientas de la Industria 4.0) para los sistemas de moto-compresión. A futuro, en el escenario que cambien los niveles de exigencias, el factor de utilización y el impacto en producción (aumente), habría que realizar de nuevo el ACCV de las 2 opciones evaluadas de monitorización por condición tradicional vs. Herramientas de la Industria 4.0 y tomar la decisión en función de los nuevos resultados a obtener del ACCV.**

Análisis resumen de los Resultados totales de ACCV. Caso 2.

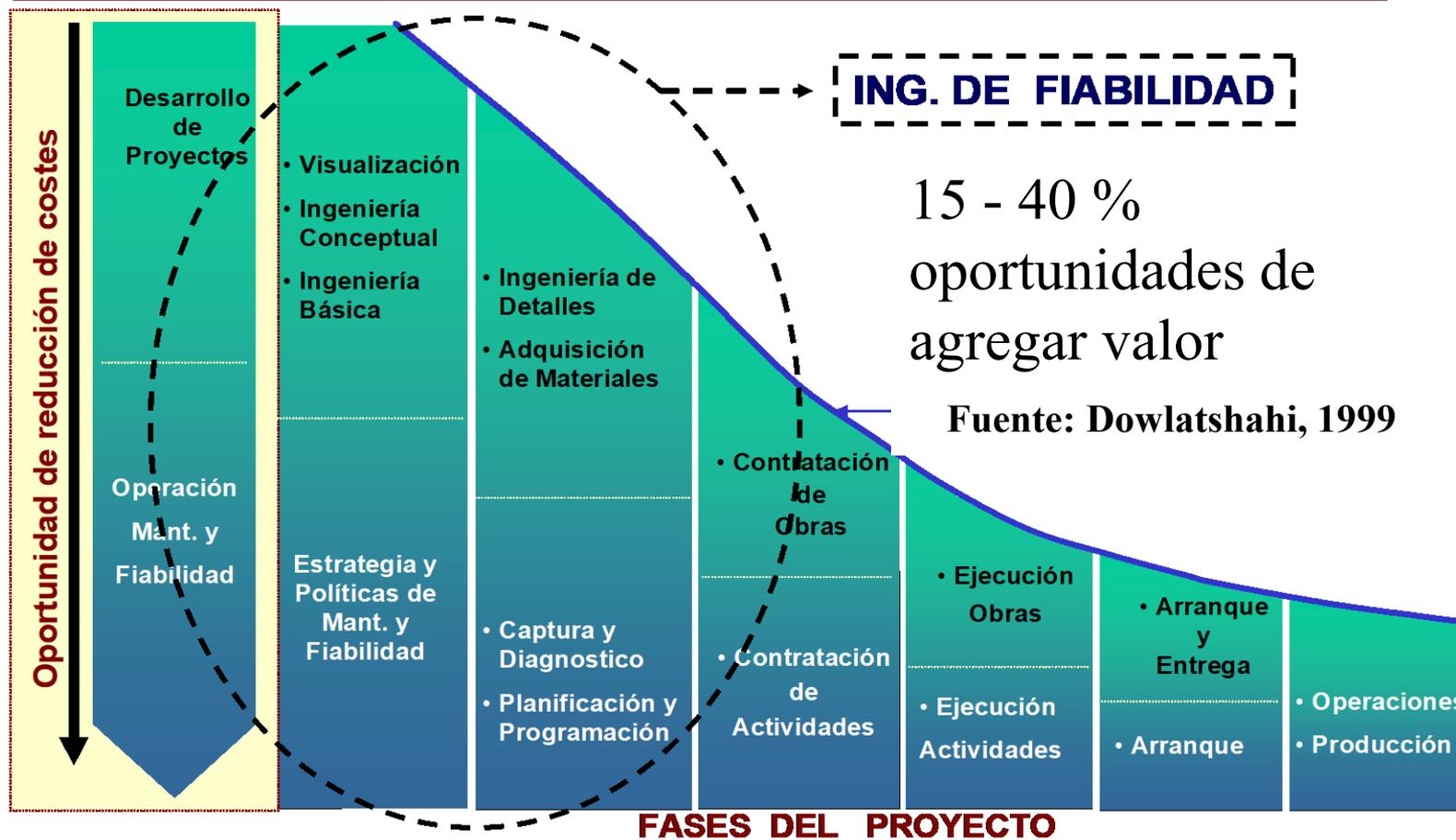


# Discusión de cierre.....



# OPORTUNIDADES DE AGREGAR VALOR POR CONFIABILIDAD

## OPORTUNIDADES DE CREACION VALOR EN EL CICLO DE VIDA DEL ACTIVO



Oportunidades de reducción de Costes

Fuente: Yáñez, M., "Introducción a la Ingeniería de Confiabilidad",  
Curso de Adiestramiento, Petróleos de Venezuela.



- **Técnicas avanzadas de análisis de Confiabilidad que incluyan pruebas de ajuste estadístico (Test de Kolmogorov), ver (Elsayed, 1982, Barlow, Clarotti and Spizzichino, 1993, Ireson, et al., 1996, Elsayed, 1996, Scarf, 1997, Ebeling, 1997 and Dhillon, 1999).**
- **Técnicas de simulación de Monte Carlo, ver (Barringer, 1997, Barringer and Webber, 1996, and Kaminsky and Krivtsov, 1998).**
- **Métodos de simulación de Markov, ver (Roca, 1987, Kijima and Sumita, 1987 and Kijima, 1997).**
- **Modelos Estocásticos para equipos reparables (POR - proceso ordinario de restauración, NHPP - proceso no homogéneo de Poisson y PGR- proceso generalizado de restauración), ver detalles de estos modelos en (Tejms, 1986, Karyagina et al., 1998, Bloch-Mercier, 2000 and Yañez et al., 2002), Parra and Crespo, 2010.**
- **ISO 14044-2006 (Evaluar Ciclo de Vida)**



*Safety, Reliability and Risk Analysis: Theory, Methods and applications – Martorell et al. (eds), 2008 Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-48513-5, p.929 – 938.*

## **Non-homogeneous Poisson Process (NHPP), stochastic model applied to evaluate the economic impact of the failure in the life cycle cost analysis (LCCA)**

Carlos Parra Márquez\*, Adolfo Crespo Márquez\*\*, Pedro Moreu de León\*\*, Juan Gómez Fernández\* & Vicente González Díaz\*

*Department Industrial Management School of Engineering of the University of Seville*

*\*\* Associate Professor, \*PhD student of the Industrial Management Program at the School of Engineering of the University of Seville*

### **Abstract:**

This paper aims to explore different aspects related with the failure costs (non reliability costs) within the life cycle cost analysis (LCCA) of a production asset. Life cycle costing is a well-established method used to evaluate alternative asset options. This methodology takes into account all costs arising during the life cycle of the asset. These costs can be classified as the ‘capital expenditure’ (CAPEX) incurred when the asset is purchased and the ‘operating expenditure’ (OPEX) incurred throughout the asset’s life. In this paper we explore different aspects related with the “failure costs” within the life cycle cost analysis, and we describe the most important aspects of the stochastic model called: **Non-homogeneous Poisson Process (NHPP)**. This model will be used to estimate the frequency failures and the impact that could cause the diverse failures in the total costs of a production asset. The paper also contains a case study where we applied the above mentioned concepts. Finally, the model presented provides maintenance managers with a decision tool that optimizes the life cycle cost analysis of an asset and will increase the efficiency of the decision-making process related with the control of failures.

**Keywords:** *Asset; Failures; Life Cycle Cost Analysis (LCCA); Non-homogeneous Poisson Process (NHPP); Maintenance; Reliability; Repairable Systems*

## Stochastic model of reliability for use in the evaluation of the economic impact of a failure using life cycle cost analysis. Case studies on the rail freight and oil industries

Proc IMechE Part O:  
J Risk and Reliability  
226(4) 392–405  
© IMechE 2012  
Reprints and permissions:  
sagepub.co.uk/journalsPermissions.nav  
DOI: 10.1177/1748006X12441880  
pio.sagepub.com  


Carlos Parra<sup>1</sup>, Adolfo Crespo<sup>1</sup>, Fredy Kristjanpoller<sup>2</sup> and Pablo Viveros<sup>2</sup>

### Abstract

This paper aims to investigate the technical and economic factors related to failure costs (non-reliability costs) within the life cycle cost analysis (LCCA) of a production asset. Life cycle costing is a well-established method for the evaluation of alternative asset options. It is a structured approach that addresses all the elements of this cost and can be used to produce a spend profile for an asset over its anticipated life-span. The results of an LCCA are used to assist management in the decision-making process when there is a choice of options. The main costs can be classified as the capital expenditure incurred when the asset is purchased, and the operating expenditure incurred during the asset's life. This paper explores different aspects related to the failure costs within the LCCA, and describes the most important aspects of the stochastic model: a non-homogeneous Poisson process. This model is used to estimate the frequency of failures and their impact which can cause various failures in the total costs of a production asset. This paper also contains a case study for the rail freight industry (Chile) and the oil industry (Petronox, Venezuela) where the proposed model and concepts are applied, and respectively compared in terms of results. Finally, the presented model provides maintenance managers with a decision tool that optimizes the LCCA of an asset and increases the efficiency of the decision-making process related to the control of failures.

### Keywords

Asset analysis, failures, life cycle cost analysis, non-homogeneous Poisson process, maintenance, reliability models, repairable systems, parameter estimation, rail freight

[http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4134220&trk=groups\\_management\\_edit\\_group\\_info-h-logo](http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4134220&trk=groups_management_edit_group_info-h-logo)

- Es muy importante que podamos definir e identificar los distintos factores relacionados con la Confiabilidad de un activo (calidad del diseño, tecnologías utilizadas, complejidad técnica, frecuencia de fallas, costes de mantenimiento preventivo/ correctivo, niveles de mantenibilidad y accesibilidad), ya que estos aspectos, tienen un gran impacto sobre el coste total del ciclo de vida del activo, e influyen en gran medida sobre las posibles expectativas para extender la vida útil de los activos a costes razonables.
- Finalmente, hay que tener en cuenta, que los métodos de ACCV tienen sus características particulares, y es imposible desarrollar una metodología única de ACCV que cubra todas las expectativas y exigencias técnicas. Sin embargo, es necesario incluir dentro de las metodologías actuales de ACCV, modelos que permitan estimar de forma objetiva, tanto el impacto *económico* de la Confiabilidad como la influencia real de las mejoras (técnicas y económicas) que se obtendrán, al introducir las nuevas tecnologías de la industria 4.0, todo esto, con el objetivo de poder disminuir el nivel de incertidumbre en el proceso de evaluación de los costes totales esperados en el ciclo de vida útil de un activo de producción.

Gracias por su atención ....

Carlos Parra  
Gerente General de IngeCon (Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)  
Representante de INGEMAN Latinoamérica  
E-mail: [parrac@ingecon.net.in](mailto:parrac@ingecon.net.in) [parrac37@gmail.com](mailto:parrac37@gmail.com)

Grupo de Ingeniería de Confiabilidad Operacional <https://www.linkedin.com/groups/4134220>





**“Cómo justificar herramientas de la industria 4.0,  
aplicando técnicas de Análisis de Costos de Ciclo de Vida  
(ACCV)”**

**Gracias por su atención..**

**Preguntas.....**

**Gerente General de IngeCon  
(Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)**

**Gerente Técnico de INGEMAN Latinoamérica**

**[www.confiabilidadoperacional.com](http://www.confiabilidadoperacional.com)**

**[www.ingeman.net](http://www.ingeman.net)**

**E-mail: [parrac@ingecon.net.in](mailto:parrac@ingecon.net.in)**

**[http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4134220&trk=groups management edit group info-h-logo](http://www.linkedin.com/groups?home=&gid=4134220&trk=groups+management+edit+group+info-h-logo)**



# PhD. MSc. Eng. Carlos Parra



*Gerente General de IngeCon (Asesoría Integral en Ingeniería de Confiabilidad)*

*Representante de INGEMAN Latinoamérica*

[www.confiableidadoperacional.com](http://www.confiableidadoperacional.com)

[www.ingeman.net](http://www.ingeman.net)

E-mail: [parrac@ingecon.net.in](mailto:parrac@ingecon.net.in)

[parrac37@gmail.com](mailto:parrac37@gmail.com)

[www.linkedin.com/in/carlos-parra-6808201b](https://www.linkedin.com/in/carlos-parra-6808201b)

Grupo de Ingeniería de Confiabilidad Operacional

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

Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros

Doctorado en Ingeniería de Organización Industrial

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

*Programa general de cursos Latinoamérica 2019:*

<https://www.linkedin.com/pulse/programa-de-cursos-2019-ingenieria-confiabilidad-y-gestion-parra/>

Miami, Florida, Certificación en español RCA e ICOGAM 2019

15 al 18 de Octubre 2019:

<https://app.box.com/s/9auegkxfd2vn9cgrkfnmrhyd31es4aq6>



Información: Yolines Graterol: [gyolines2@gmail.com](mailto:gyolines2@gmail.com), [gyolines@ingecon.net.in](mailto:gyolines@ingecon.net.in)

Teléfono: +507 64128570 (Panamá) Personal certificado ICOGAM: <https://lnkd.in/e4x58Py>



# REFERENCIAS

- **Dhillon B. S, 1998**, “Life Cycle Costing: Techniques, Models and Applications”, Gordon and Breach Science Publishers, New York.
- **DOD Guide LCC-1, DOD Guide LCC-2, DOD Guide LCC-3, 1998**, “Life Cycle Costing Procurement Guide, Life Cycle Costing Guide for System Acquisitions, Life Cycle Costing Guide for System Acquisitions”, Department of Defense, Washington, D.C.
- **Fabrycky W.J & Blanchard S., 2001**, “Life Cycle Costing and Economic Analysis”, Prentice Hall, Inc, Englewood Cliff, New Jersey.
- **Parra C. y Crespo A., 2015**, “Ingeniería de Mantenimiento y Fiabilidad aplicada en la Gestión de Activos”, INGEMAN, Sevilla, España.
- **Parra C., 2001**, "Evaluación de la Influencia del Ciclo de Vida de 18 Motocompresores de Gas en PDVSA/ Distrito Norte, Maturín", Informe Técnico INT-9680-2001, PDVSA INTEVEP, Venezuela.
- **Parra C., 2002**, "Análisis determinístico del Ciclo de Vida y evaluación del factor Confiabilidad en 52 Motocompresores de gas en PDVSA del Distrito San Tomé". Congreso Mundial de Mantenimiento, Brasil - Octubre.
- **Williams, D., Scott R. 2000**, “Reliability and Life Cycle Costs”, *RM-Reliability Group*, Technical Paper, Texas, TX, November.
- **Woodhouse, Jhon, 1999**, “Análisis de Costos del Ciclo de Vida – APT Lifespan” / WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED, Curso de adiestramiento PDVSA INTEVEP, Venezuela, Universidad de Aberdeen, Escocia.
- **Woodhouse, Jhon, 1996**, “Managing Industrial Risk” / THE WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED, Chapman Hill Inc, London.
- **Woodward, D. G., 1997**, “Life Cycle Costing – Theory, Information Acquisition and Application”, International Journal of Project Management, 15(6), 332 - 335.
- **Parra and Crespo, 2010**, “RELIABILITY STOCHASTIC MODEL APPLIED TO EVALUATE THE ECONOMIC IMPACT OF THE FAILURE IN THE LIFE CYCLE COST ANALYSIS (LCCA). CASE OF STUDY IN THE OIL INDUSTRY”. SAFETY, RELIABILITY AND RISK ANALYSIS: THEORY, METHODS AND APPLICATIONS, 2010, ISBN: 978-0-415-60427-7, TAYLOR & FRANCIS, LONDRES REINO UNIDO, 625-637



# ANEXOS



# SOFTWARE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y COSTO DE CICLO DE VDA: RELMANT-LCC-V1

- Desarrollo del Software RELMANT-LCC 2002 v.1 (Índices de Fiabilidad-Mantenibilidad-Costos Ciclo de Vida). Autor: Carlos Parra. Herramienta informática en desarrollo para la organización PETROBAS-SHELL, Campo PETRONOX

Nombre:  
ejercicio weibull

Unidad para Tf:

Unidad para Ttr:

	Tf	Ttr	
1	2	-	<input checked="" type="checkbox"/>
2	2	-	<input checked="" type="checkbox"/>
3	3	-	<input checked="" type="checkbox"/>
4	3	-	<input checked="" type="checkbox"/>
5	3	-	<input checked="" type="checkbox"/>
6	5	-	<input checked="" type="checkbox"/>
7	5	-	<input checked="" type="checkbox"/>
8	5	-	<input checked="" type="checkbox"/>
9	5	-	<input checked="" type="checkbox"/>
10	4	-	<input checked="" type="checkbox"/>
11	4	-	<input checked="" type="checkbox"/>
12	6	-	<input checked="" type="checkbox"/>
13	7	-	<input checked="" type="checkbox"/>
14	7	-	<input checked="" type="checkbox"/>
15	6	-	<input checked="" type="checkbox"/>
16	6	-	<input checked="" type="checkbox"/>
17	6	-	<input checked="" type="checkbox"/>
18	4	-	<input checked="" type="checkbox"/>
19	3	-	<input checked="" type="checkbox"/>
20	4	-	<input checked="" type="checkbox"/>
21	4	-	<input checked="" type="checkbox"/>
22	3	-	<input checked="" type="checkbox"/>
23	3	-	<input checked="" type="checkbox"/>

Agregar

Limpiar

>> Ok >> Rt : 0.9363 ht : 0.101151

Ttr :  ft :  Mt :   
>> Ok >> Nmt :  htr :

MTTF : 3.473698  
MTTR :

Tf	Tiempo operativo
Ttr	Tiempo para reparar
$\mu$	Media
$\sigma$	Desviación estandar
$\mu \log$	Media logarítmica
$\sigma \log$	Desviación estandar logarítmica
$\alpha$	Vida característica
$\beta$	Parámetro de forma
ft	Función de densidad
Ft	Probabilidad de falla
Rt	Probabilidad de funcionamiento
ht	Frecuencia de falla
Mt	Probabilidad de reparación exitosa
Nmt	Probabilidad de fracaso (reparación no culminada)
htr	Frecuencia de reparación
MTTF	Tiempo promedio hasta la falla
MTTR	Tiempo promedio de reparación

Ver gráficos Imprimir

Mas información del análisis  
::: ejercicio weibull :::

Distribuciones analizadas según prueba de Kolmogorov - Smirnov :

	Nivel de significancia : 0.05   Valor crítico : 0.2749				
		Tf	Ttr		
Exponencial :	0.367989	-	-	-	-
Weibull :	0.143259	Ok	Seleccionada	-	-
Lognormal :	0.152926	Ok	-	-	-

Parámetros - Tf :

$\alpha$  (vida característica) = 4.847087  
 $\beta$  (parámetro de forma) = 3.073598



# SOFTWARE CONFIABILIDAD, MANTENIBILIDAD Y COSTO DE CICLO DE VDA: RELMANT-LCC-V1

- Desarrollo del Software RELMANT-LCC.v.1 (Índices de Fiabilidad-Mantenibilidad-Costos Ciclo de Vida). Autor: Carlos Parra. Herramienta informática en desarrollo para la organización PETROBAS-SHELL, Campo PETRONOX.

Módulo económico

Analisis de confiabilidad Módulo económico

Lista de equipos  
::: Caso-Petronox-PDVSA-SHELL :::

Nombre:

Nombre : Option A Dresser Rand

Tiempos

VUE	MTTF	FF	MTRR
15	4.287	2.79916	9

Costos

II	CO	CMM	CMP	CMNP	CPFI	CTPF	CA	CPA	TD	VP	AE	%CTPF
1100000	100000	20000	60000	700	6000	168789.363	0	422122.697	10	3752919.626	493410.518	34.209

Nombre : Option B Wartsila

Tiempos

VUE	MTTF	FF	MTRR
15	2.742	4.376368	8

Costos

II	CO	CMM	CMP	CMNP	CPFI	CTPF	CA	CPA	TD	VP	AE	%CTPF
900000	120000	16000	40000	400	6000	224070.022	0	460070.022	10	3942964.395	518396.421	43.224

Agregar equipo

Descripción:

Comparación entre dos opciones de compresores de gas

Guardar lista de equipos

Eliminar lista de equipos

Notación

Tiempos

VUE :

Vida útil esperada  
(Años)

MTTF :

Tiempo promedio hasta  
la falla (Meses)

FF :

Frecuencia de fallas  
(Fallas/Año)

MTRR :

Tiempo promedio de  
reparación (Horas)

Costos

II :

Inversión inicial

CO :

Costos Operacionales  
(Dinero/Año)

CMM :

Costo de  
mantenimiento

(Dinero/Año) **PETROBAS**

CMP :

Costo de  
mantenimiento  
preventivo

