



CONGRESO DE
MANTENIMIENTO
& CONFIABILIDAD
M É X I C O

14
EDICIÓN



TOOLBOX
SESION

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



Curso:

TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE COSTO DE CICLO DE VIDA E INGENIERÍA DE CONFIABILIDAD APLICADAS EN EL PROCESO DE OPTIMIZACIÓN DEL MANTENIMIENTO

Carlos A. Parra M.

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

Representante de INGEMAN Latinoamérica

www.confiabilidadoperacional.com

www.ingeman.net

E-mail: parrac@ingecon.net.in

parrac37@gmail.com

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>

OBJETIVOS

- *Dar a conocer los aspectos generales de la investigación propuesta: Evaluación del impacto del factor "Fiabilidad" en el Coste Total de Ciclo de Vida de un sistema de Producción.*
- *Explicar los aspectos básicos de la metodología de análisis de Coste de Ciclo de Vida (ACCV).*
- *Evaluar el impacto de los factores de Fiabilidad y Mantenibilidad en el Coste del Ciclo de Vida de los activos - Modelo de Tasa de Fallos Constante (Woodward) y Modelo de Distribuciones probabilísticas (Willians y Scott).*
- *Explicar las técnicas de Análisis Coste Riesgo Beneficio en las áreas de definición de frecuencias de mantenimiento*
- *Discusión Final*

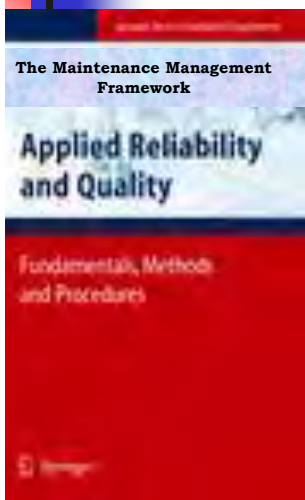
Parte 1:

Aspectos básicos de la metodología de análisis de Coste de Ciclo de Vida (ACCV).

ANTECEDENTES ACTUALES (1990-2000)

- Entre los años de 1992 y 1994, el investigador Woodward (1997), de la Escuela de Negocios de la Universidad de Staffordshire (Inglaterra, Gran Bretaña), desarrolló una línea de investigación en la cual incluye aspectos básicos de análisis del factor Fiabilidad y su impacto sobre los Costes de Ciclo de Vida.
- En el 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 Fiabilidad a partir de la estimación de valores constantes de fallos por año (tasa de fallos constante).
- En el 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 fallos y el impacto de los Costes de Fiabilidad, ver detalles de este modelo en Willians et al (2000).
- A finales de 1999, el grupo asesor *The Woodhouse Partnership* participa en el Proyecto Europeo EUREKA, específicamente dentro de la línea de investigación denominada MACRO (*Maintenance Cost/Risk Optimisation 'MACRO' Project*) y desarrollan un software comercial de ACCV denominado APT Lifespan el cual se define de forma clara en Riddell *et al* (2001) y Woodhouse (1999), que incluye la evaluación de la frecuencia de fallos, utilizando distribuciones probabilísticas.
- Posteriormente, en el año 2001 en conjunto la Universidad Robert Gordon, *The Woodhouse Partnership* y el Instituto Tecnológico Venezolano del Petróleo (INTEVEP), ponen a prueba este modelo, evaluando los Costes Totales de Ciclo de Vida de 56 sistemas de compresión de gas, utilizados para la extracción del petróleo pesado del Distrito San Tomé (Venezuela). Parra *et al*, (2003) presentan los resultados de este análisis.
- 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. Es importante mencionar la existencia de otras metodologías que han venido surgiendo en el área de ACCV, tales como: Análisis de Costes de Ciclo de Vida e Impacto Ambiental, Análisis de Costes Totales de Activos de Producción, Modelo de Costes Basado en Actividades, entre otras. Estas metodologías tienen sus características particulares, aunque con respecto al proceso de estimación del impacto de los costes por eventos de fallos, las mismas, proponen análisis de Fiabilidad normalmente basados en tasa de fallos constantes.

Modelo de Gestión del Mantenimiento (MGM) desarrollado por INGEMAN



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



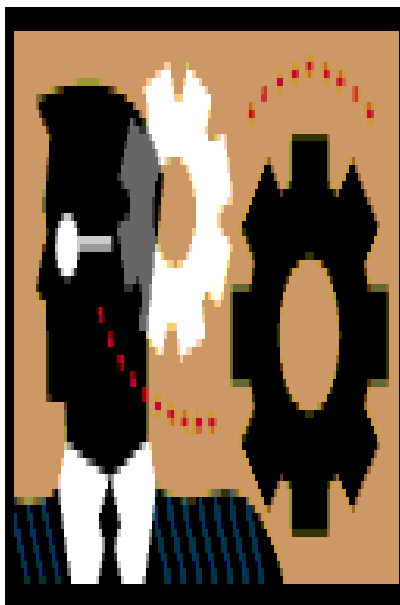
ACTIVOS "VIEJOS": ¿POR QUÉ REEMPLAZAR ?

Justificación del reemplazo:

- Obsolescencia (técnica - económica)
- Cambios en el contexto operacional
- costes elevados (operación - mantenimiento)
- Aspectos de logística (repuestos)
- Baja Fiabilidad-disponibilidad
- Aspectos de seguridad / ambiente
- Feeling.....

¿ CUÁNDO ES EL MOMENTO ÓPTIMO PARA REEMPLAZAR ?

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



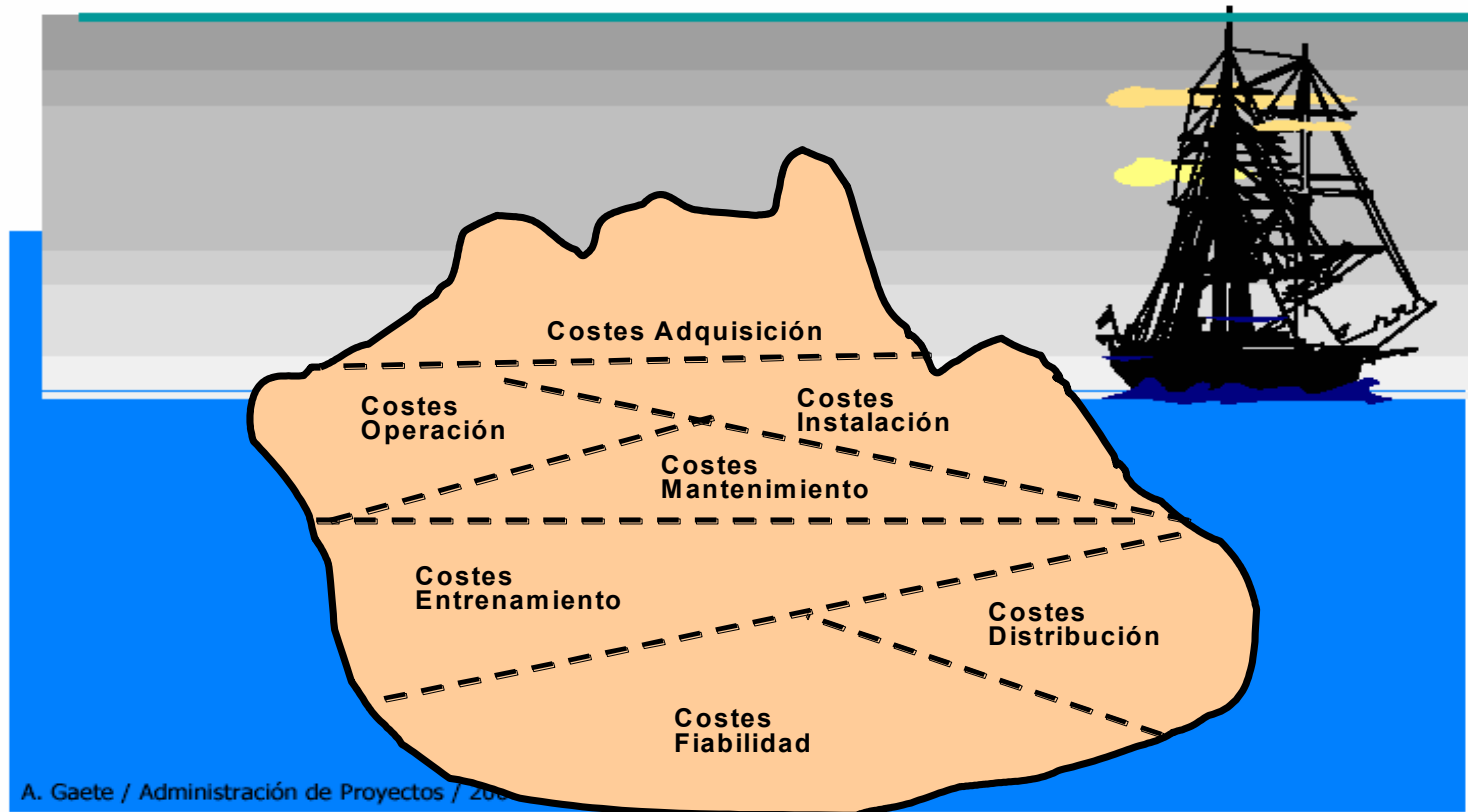
- Producir más
- Mayor Fiabilidad y Disponibilidad
- Mejorar la eficiencia de los activos
- Mejorar la calidad de los productos
- Incrementar la seguridad
- Cumplir regulaciones ambientales

CONFLICTO ACTUAL EN EL PROCESO DE
REEMPLAZO/SELECCIÓN DE UN ACTIVO

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 modos de fallo y sus probabilidades de ocurrencia.....**

INCERTIDUMBRE EN LOS COSTES



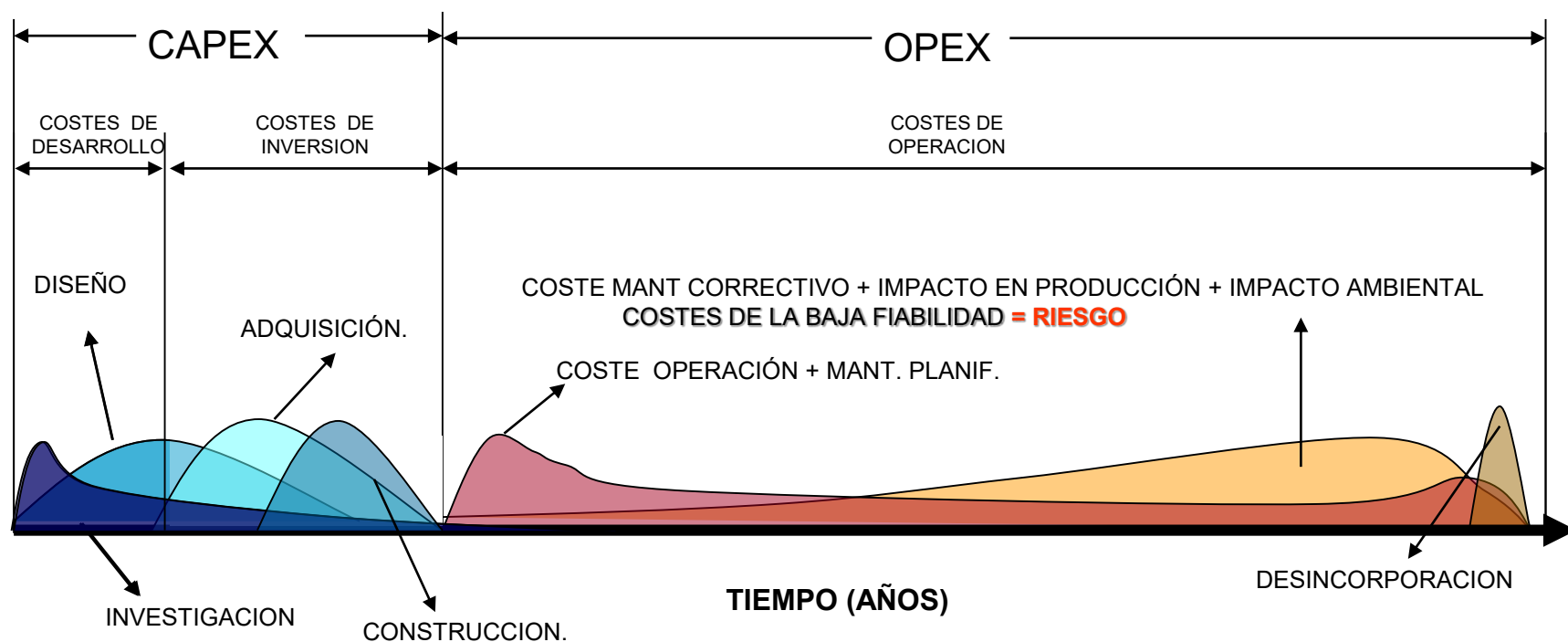
DEFINICIÓN BÁSICA DE ANÁLISIS DEL COSTE DEL CICLO DE VIDA (ACCV)

- Kirt, *et al* (1996) define el ACCV como una técnica de cálculo económico que permite optimizar la toma de decisiones asociadas a los procesos de diseño, selección, desarrollo y sustitución de los activos que conforman un sistema de producción. La misma propone evaluar de forma cuantitativa todos los costes asociados al período económico de vida útil esperado, expresados en unidades monetarias equivalentes anualizadas (Dólares/año, Euros/año, Pesos/año).
- 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 permite considerar de forma simultánea aspectos económicos y de Fiabilidad, con el propósito de cuantificar el impacto real de todos los costes a lo largo del ciclo de vida de los activos (\$/año), y de esta forma, poder seleccionar el activo que aporte los mayores beneficios al sistema productivo.

En particular, para poder realizar de forma efectiva un ACCV, es necesario aclarar los siguientes conceptos:

- Características de los costes
- Tasa de descuento que más se ajuste a la realidad
- Impacto de la tasa de descuento y del Valor de Dinero en el tiempo
- Ciclo vida Útil esperado
- Período de tiempo en el cual se tienen que estimar los costes

VARIACIÓN DE COSTES A LO LARGO DEL CICLO DE VIDA



La tasa de interés representa el valor del dinero en el tiempo. Esta se describe como la tasa nominal de incremento en el valor del dinero en el tiempo. Este proceso en el que el dinero adquiere valor e incrementa en cantidad sobre un período de tiempo específico (años), es lo que se conoce como el Valor del Dinero en el Tiempo (a una tasa de descuento del 7% anual, 100\$ serán 107\$ en un año)

Mucho se ha escrito acerca de la tasa de descuento y los métodos para determinarla, pero no hay un método único aceptado a nivel mundial, por lo cual, las estimaciones de la tasa de descuento varían entre las diferentes organizaciones. Normalmente la selección de la tasa de descuento es una decisión propia de las organizaciones tanto públicas como privadas.

VALOR PRESENTE (P) DE UN VALOR ANUALIZADO (A)

Dado un valor anualizado (A), calcular su valor presente (P):

$$P = A \times VPA, \quad VPA = \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t}$$

Ejemplo:

CO = Costes operacionales:

A = 10.000\$/año, i = 10 %, t = 15 años

$$P = 10.000\$ \times \frac{(1+0,1)^{15} - 1}{0,1 \times (1+0,1)^{15}}$$

$$P = 76.060,79\$$$

VALOR PRESENTE SIMPLE (P) DE UN VALOR FUTURO (F)

Dado un valor futuro (F), calcular su valor presente (P):

$$P = F \times VP, \quad VP = \frac{1}{(1 + i)^t}$$

Ejemplo:

CMM = Costes de Mantenimiento Mayor:

F = 100.000\$, para t = 5 años y para t = 10 años, i = 10 %

t = 5 años

$$P = 100.000\$ \times \frac{1}{(1 + 0,1)^5}$$

P = 62.092,13\$

t = 10 años

$$P = 100.000\$ \times \frac{1}{(1 + 0,1)^{10}}$$

P = 38.554,32\$

VALOR ANUALIZADO (A) DE UN VALOR PRESENTE (P)

Dado un valor presente (P), calcular su valor anualizado (A):

$$A = P \times PPA, \quad PPA = \frac{i \times (1+i)^t}{(1+i)^t - 1}$$

Ejemplo:

Costes totales en valor presente de un activo X:

P = 1.076.162,59\$, representa el valor presente de todos los costes esperados en un ciclo de vida de 15 años y una tasa de descuento del 10 %

$$(A) = 1.076.162,59\$ \times \frac{0,1 \times (1 + 0,1)^{15}}{(1 + 0,1)^{15} - 1}$$

A = 141.487,16\$ representa el valor equivalente anual de todos los costes esperados para un ciclo de vida de 15 años y una tasa de descuento del 10 %

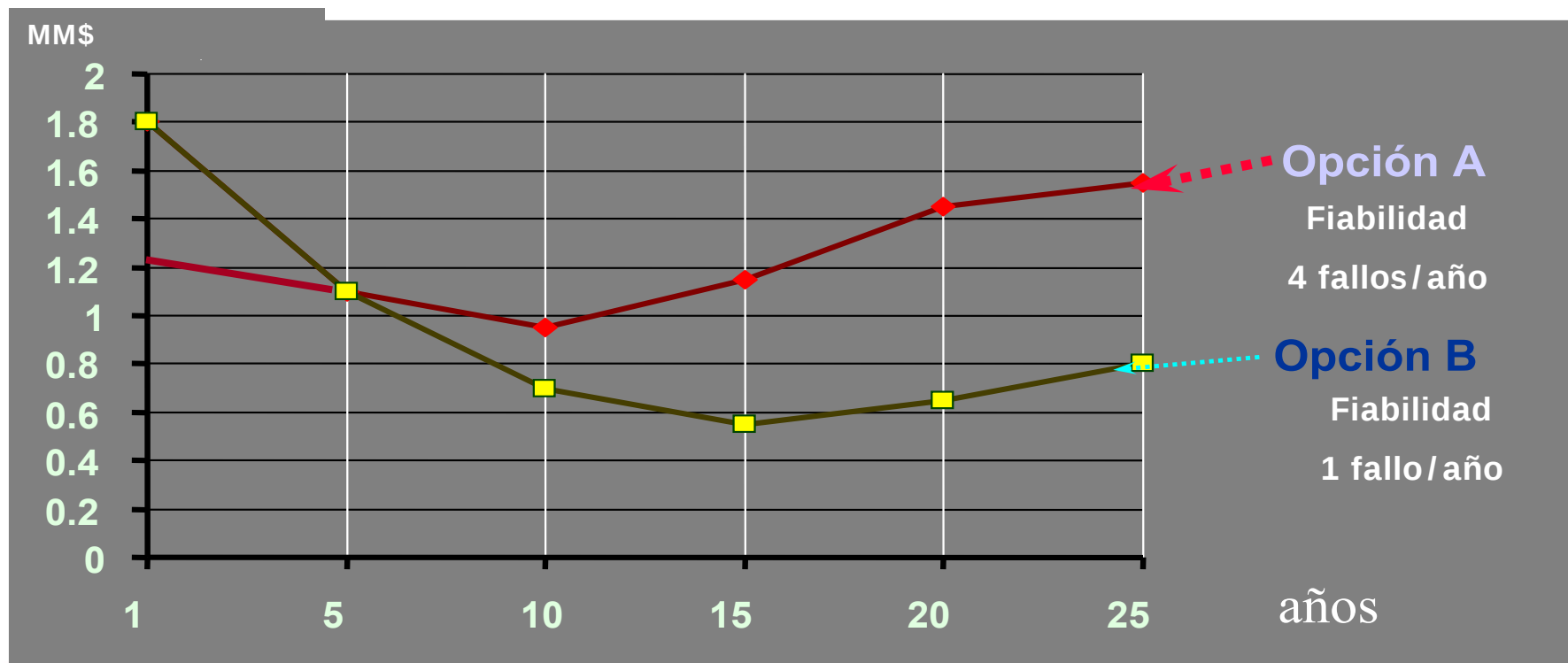
CICLO VIDA ÚTIL ESPERADO

La vida de un sistema (proceso, elemento componente, equipo) es definida en términos semejantes a la vida humana, como el promedio de años en el cual se espera que el sistema funcione.

- **Vida Tecnológica:** número de años esperados de operación hasta que la tecnología causa obsolescencia en el sistema.
- **Vida útil:** número de años esperados durante los cuales el sistema cumplirá sus funciones dentro de los estándares de operación de diseño establecidos.
- **Vida económica:** número de años estimados en los cuales el sistema genera los menores costes (mayores ganancias) dentro del proceso de producción.

FIABILIDAD Y EL PROCESO DE ACCV

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 – CASO BÁSICO

MODELO DE WOODWARD (TASA DE FALLOS CONSTANTES)

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

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

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**.
- CTPF = Costes Totales por Fiabilidad, normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos 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).

CTPF: COSTES TOTALES POR FIABILIDAD

CTPF = Costes totales por fiabilidad/(\$/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 fallos inesperadas, y viene expresado como;

$$\text{CTPF} = \sum_{i=1}^m (F(n) \times P_e)$$

F = frecuencia de ocurrencia de cada modo de fallo para el año n, constante para todos los años, dependo del TPO (tiempo promedio de operación hasta el fallo), ejemplo: 5 fallos/año - (factor Fiabilidad).

Pe = Tiempo de reparación (TPPR) x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.) = (\$/fallos) - (factor Mantenibilidad).

22 **m** = número de modos de fallos que ocurren al año.

PE - PENALIZACIÓN POR FALLOS

Costes de penalización causados por la aparición de eventos imprevistos (modos de fallos - Mantenibilidad):

- a. Labor: costes directos relacionados con la mano de obra (propia o contratada) en caso de una acción no planificada.
- b. Materiales y repuestos: costes directos relacionados con los consumibles y los repuestos utilizados en caso de una acción no planificada.
- c. Downtime, indisponibilidad, pérdidas de oportunidad, costes de penalización (operacionales, seguridad y ambiente), y /o costes por indisponibilidad generados por la aparición de un modo de fallo imprevisto (evento no programado).

Estimación de los tiempos promedios

TPO = Tiempo Promedio Operativo.

$$TPO = \sum_{i=1}^n \frac{TO_i}{\# \text{ de fallas}}$$

TPFS = Tiempo Promedio Fuera de Servicio.

$$TPFS = \sum_{i=1}^n \frac{TFS_i}{\# \text{ de fallas}}$$

$$TPFS = TPR + TPFC$$

TPEF = Tiempo Promedio Entre Fallas.

$$TPEF = \sum_{i=1}^n \frac{TEF_i}{\# \text{ de fallas}}$$

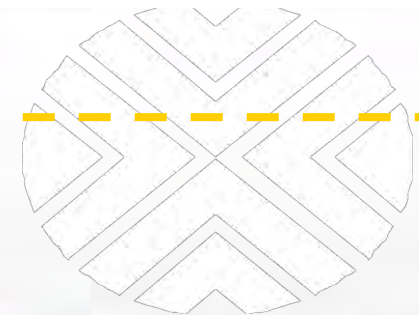
$$TPEF = TPO + TPFS$$

TPPR = Tiempo Promedio Para Reparar.

$$TPPR = \sum_{i=1}^n \frac{TPR_i}{\# \text{ de fallas}}$$

TPFC = Tiempo Promedio Fuera de Control.

$$TPFC = \sum_{i=1}^n \frac{TFC_i}{\# \text{ de fallas}}$$



Frecuencia de fallos constante – Modelo Woodward

F = frecuencia de ocurrencia de cada modo de fallo para el año n, constante para todos los años.

Expresión general:

- **$F = 1 / TPO$**

Ejemplo:

TPO: 6 meses

$F = 0,1666 \text{ fallos/mes} = 2 \text{ fallos/año}$

■ Ejercicio 1

Sistema 1 - semanas:

TO	TPR
5,0	0,5
5,5	0,6
6,0	0,7
6,7	0,8
6,7	0,7
6,8	0,7
7,9	0,7
9,0	0,8
9,0	0,7
12,0	0,8
12,5	0,7

Sistema 2 – semanas:

TO	TPR
34	1,7
34	1,7
35	2
67	2,3
67	2
69	2,4
69	2
95	1,8
96	1,8
97	1,7
98	1,8

Calcular TPO, TPPR y discutir analizar los resultados

Qué decisiones puedo inferir con esta información?

■ Resultados Ejercicio 1:

- Sistema 1:
TPO =
TPPR =
Frecuencia de fallos:

- Sistema 2:
TPO =
TPPR =
Frecuencia de fallos:

CTPF: COSTES TOTALES POR FIABILIDAD EN VALOR PRESENTE (P)

Calcule los CTPF de los sistemas 1 y 2:

Sistema 1

Frecuencia de fallos =

Tiempo de reparación (TPPR) =

Costes Mant. No Plan.= 100\$/hora

Costes Penal.= 1000\$/hora

m = 1 (un solo tipo de modos de fallos)

CTPF = # fallos/año x TPPR x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.)=

Dado un valor anualizado (CTPF), calcular su valor presente (P):

i = 10%, t = 15 años

$$P = CTPF \times \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t}$$

CTPF(P)=

CTPF: COSTES TOTALES POR FIABILIDAD EN VALOR PRESENTE (P)

Calcule los CTPF de los sistemas 1 y 2:

Sistema 2

Frecuencia de fallos =

Tiempo de reparación (TPPR) =

Costes Mant. No Plan. = 100\$/hora

Costes Penal. = 1000\$/hora

m = 1 (un solo tipo de modos de fallos)

CTPF = # fallos/año x TPPR x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.) =

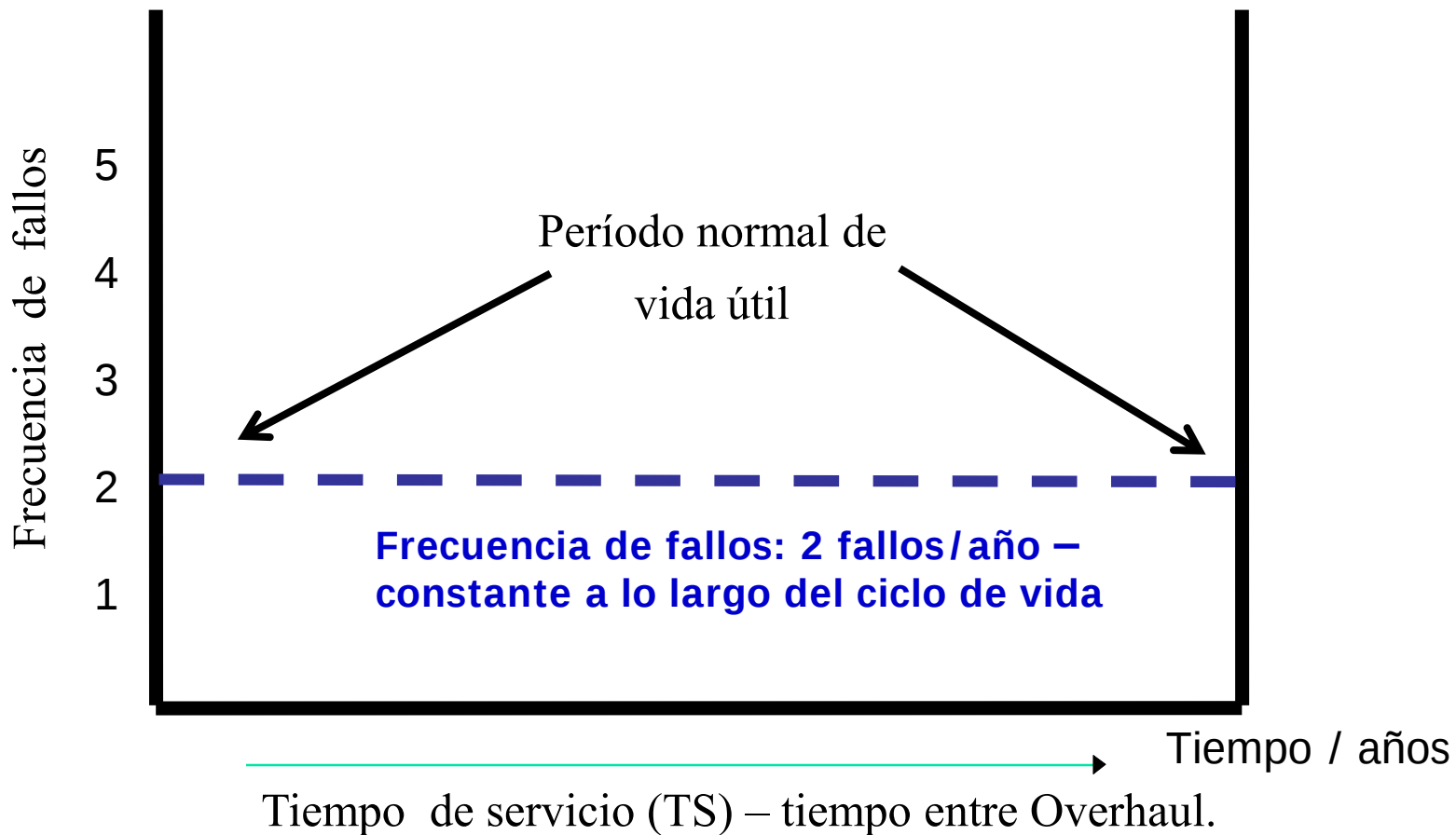
Dado un valor anualizado (CTPF), calcular su valor presente (P):

i = 10%, t = 15 años

$$P = CTPF \times \frac{(1+i)^t - 1}{i \times (1+i)^t}$$

CTPF(P) =

CASO BÁSICO: TASA DE FALLOS CONSTANTE



CASO BÁSICO: TASA DE FALLOS CONSTANTE

Ejercicio 2: 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

Datos de Fiabilidad:

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

Inversión inicial: 450.000\$

Vida útil esperada: 15 años

Factor de descuento: 10%

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

Datos de Fiabilidad:

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

Inversión inicial: 300.000\$

Vida útil esperada: 15 años

Factor de descuento: 10%

CÁLCULO DE CTPF: COSTES TOTALES POR FIABILIDAD

Opción 1:

Activo: Sistema de compresión Tipo A

Costes totales por fiabilidad (CTPF) =

CTPF = # fallos/año x TPR x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.) =

CTPF =

Opción 2:

Activo: Sistema de compresión Tipo A

CTPF = # fallos/año x TPR x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.) =

CTPF =

Resultados

COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS EVALUANDO EL IMPACTO DE LA FIABILIDAD

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

METODOLOGÍA DE ACCV – MODELO DE WILLIAMS Y SCOTT (DISTRIBUCIONES PROBABILÍSTICAS)

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

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

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**.
 - CTPF = Costes Totales por Fiabilidad, normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos constante calculada a partir del tiempo promedio operativo hasta la falla - Distribución de Weibull, 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).

CTPF: COSTES TOTALES POR FIABILIDAD

CTPF = Costes totales por fiabilidad/(\$/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 fallos inesperadas, y viene expresado como;

$$\text{CTPF} = \sum_{i=1}^m (F(n) \times Pe)$$

F = frecuencia de ocurrencia de cada modo de fallo para el año n, se calcula a partir del tiempo medio fallos de una Distribución probabilística - (factor Fiabilidad)

**Pe = Tiempo de reparación (TPPR) x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.)
= (\$/fallos) - (factor Mantenibilidad)**

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

■ Introducción al análisis de Distribuciones Probabilísticas de Fiabilidad ($R(t)$)

- Concepto de Fiabilidad
- Variables aleatorias
- Distribuciones de Fiabilidad más comunes
- Determinación de intervalos de mantenimiento basados en análisis de Fiabilidad
- Ejercicios

Fiabilidad ($R(t)$).

“ La probabilidad de que un equipo cumpla una misión específica (no falle) bajo condiciones de operación determinadas en un período de tiempo específico”.

La fiabilidad se relaciona básicamente con la tasa de fallos (cantidad de fallos) y con el tiempo medio de operación TPO, tiempo de operación (TO) . Mientras el número de fallos de un determinado equipo vaya en aumento o mientras el TPO de un equipo disminuya, la Fiabilidad del mismo será menor (**variable a modelar en Tiempos Operativos**).

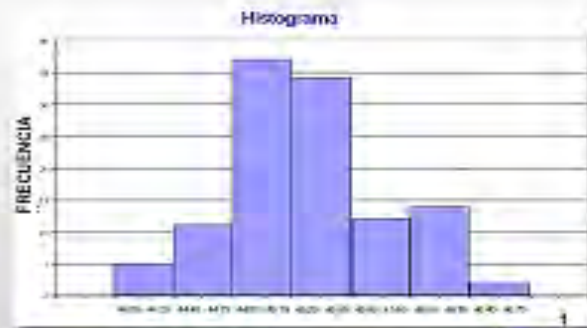
Índices más utilizados en el cálculo de Fiabilidad:

- Función de densidad de probabilidad $f(t)$, este tipo de representación matemática relaciona cualquier valor t_i que pueda tomar la variable aleatoria continua “ t ”, con su probabilidad de ocurrencia $f(t_i)$.
- Función de probabilidad de fallo acumulada:
 - $F(t) = \int f(t) dt$, probabilidad de fallo para un tiempo (t)
- Función de Fiabilidad $R(t)$, probabilidad de que el activo no falle en un tiempo (t), $R(t) : 1 - F(t)$
- Función de Frecuencia de fallos $h(t) = f(t) / R(t)$, fallos / tiempo (2 fallos/año)
- Media $E(t)$, el valor medio esperado, expresa la tendencia central de la distribución, TPO = 3,5 años, se utiliza para determinar frecuencias de mantenimiento preventivo.

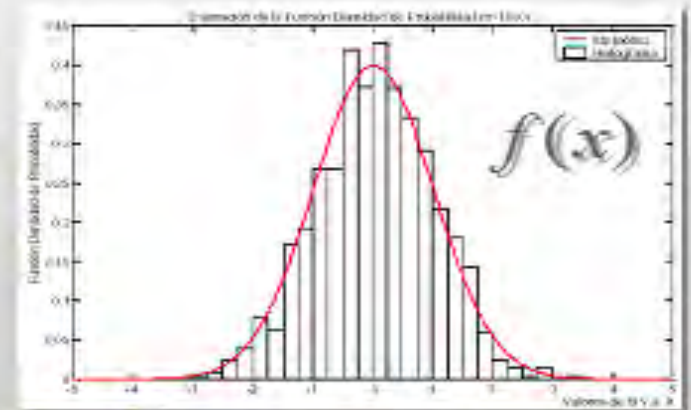
La función de densidad

TO (días)	TF3 (días)
10	10
6	7
17	6
50	6
4	9
2	2
16	10
49	9
20	2
72	6
97	7
59	6
11	1
93	7
7	5
43	2
49	7

Recopilación de
los datos

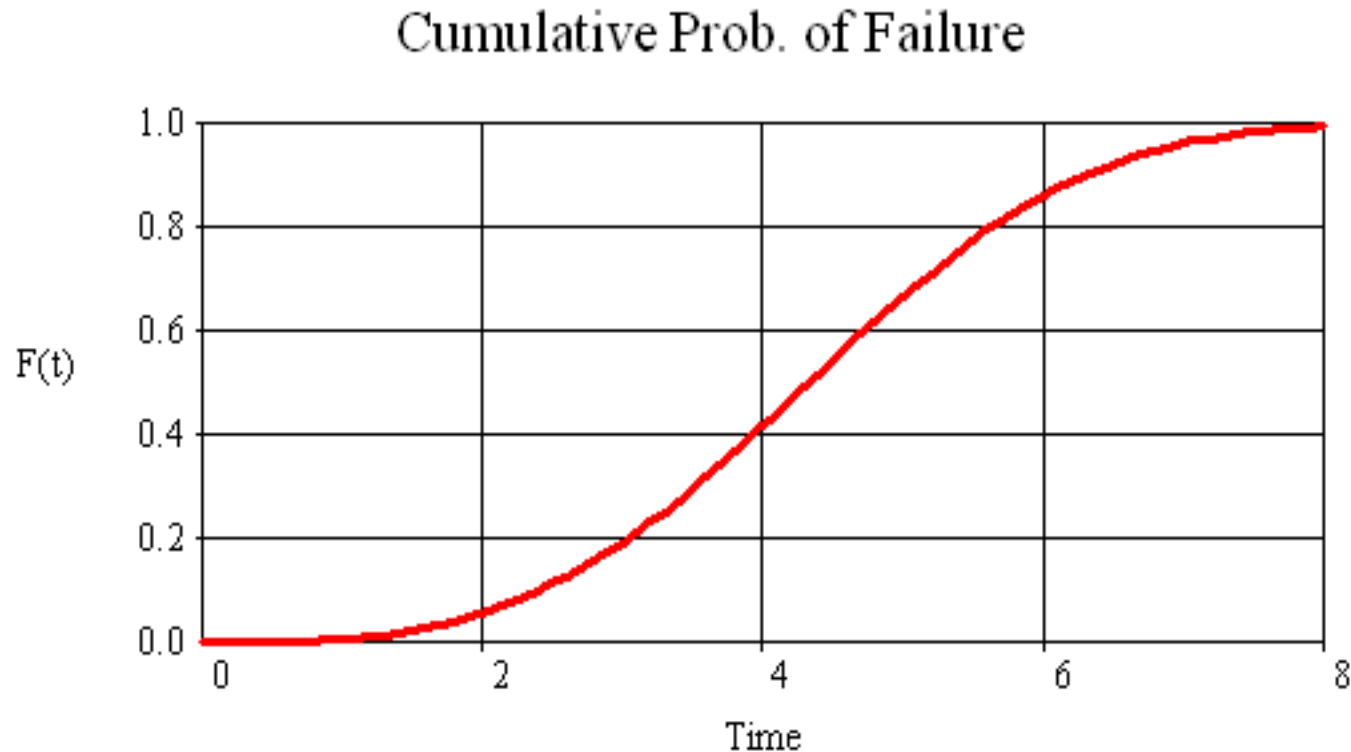


Histograma de frecuencias



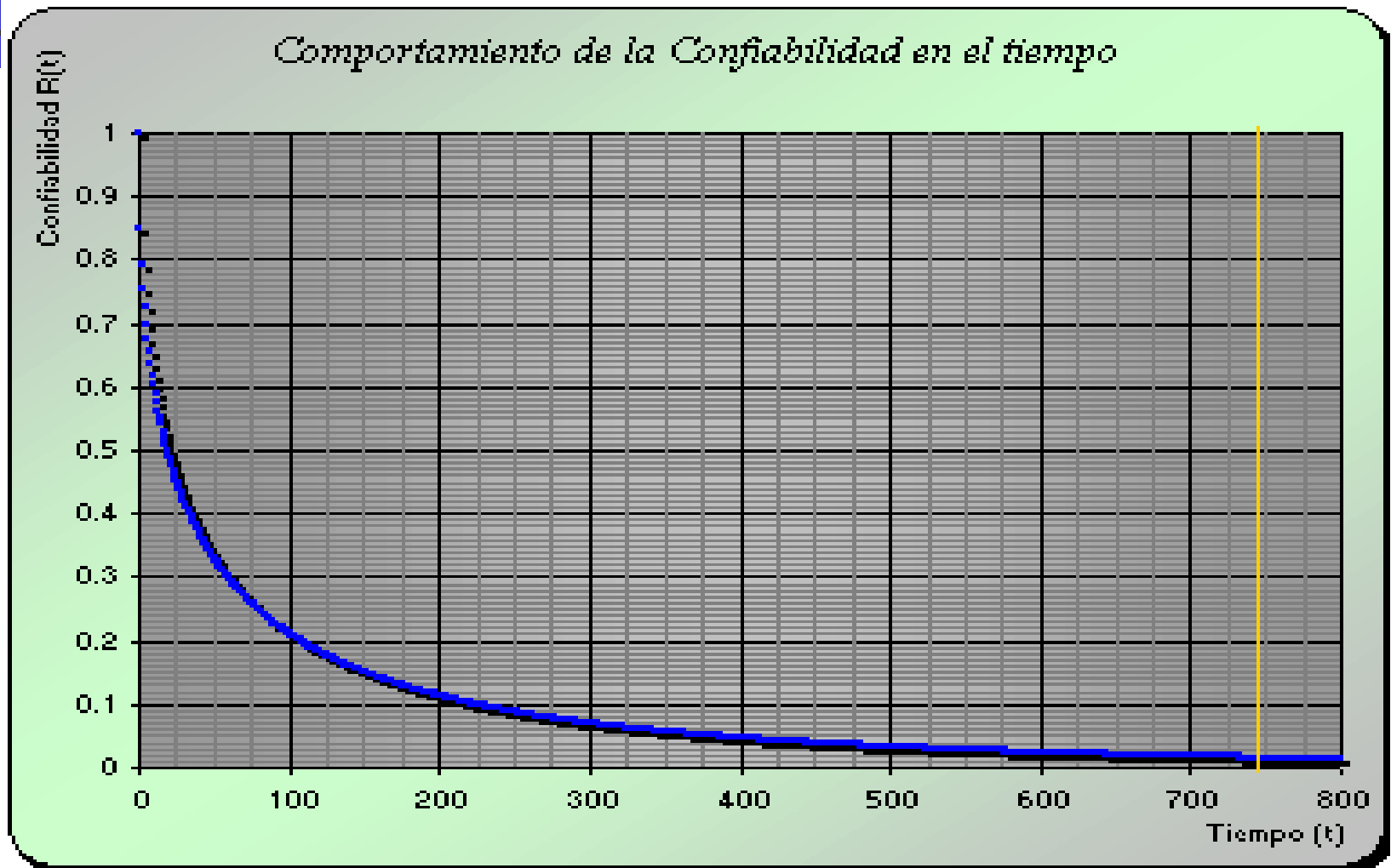
Función de densidad

Función de densidad $f(t)$:

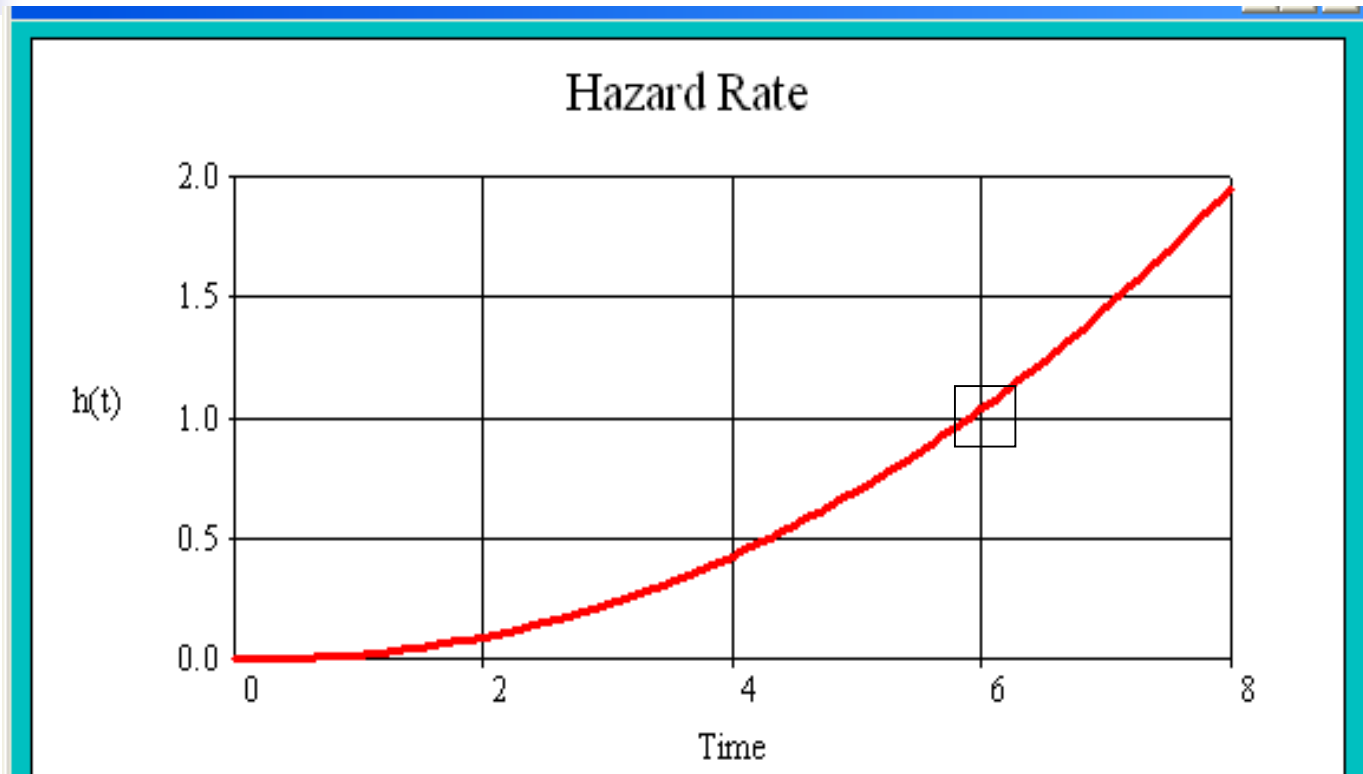


$F(t) = \int f(t) dt$, probabilidad de fallo para un tiempo (t)

FUNCIÓN DE PROBABILIDAD DE QUE NO FALLE $R(t)$



Función de Fiabilidad $R(t)$, probabilidad de que el activo no falle en un tiempo (t) , $R(t) : 1 - F(t)$



•Función de Frecuencia de fallos:

$$h(t) = f(t) / R(t), \quad h(t) = f(t) / 1 - F(t),$$

fallos / tiempo: ejemplo: 1 fallo/ cada 6 años

Distribución de Weibull

Distribución Weibull:

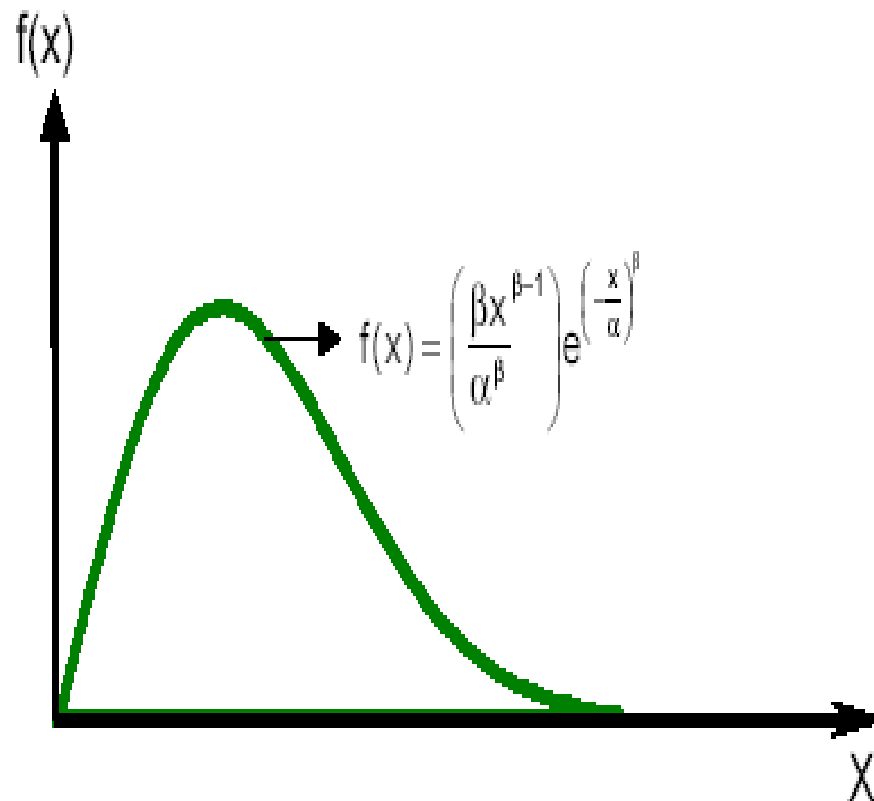


Fig. 2.26

La Distribución de Weibull es ampliamente usada en el estudio del tiempo de vida o tiempo para la falla de componentes mecánicos.

Los parámetros de la Distribución Weibull son:
Forma (β) y Escala (α)

Hay una característica fundamental de las variables que siguen la distribución Weibull

" El numero de ocurrencia de eventos por unidad de tiempo no permanece necesariamente constante; es decir esta tasa de ocurrencia de eventos puede crecer o decrecer con el tiempo ".

$$f(t) = [(\beta \times t^{(\beta-1)} / \alpha^\beta) \times (\exp(-t / \alpha)^\beta)]$$

$$F(t) = \int f(t) dt,$$

$$F(t) = 1 - [\exp((-t / \alpha)^\beta)], \quad \text{Probabilidad de fallo en un tiempo } t$$

$$R(t) = 1 - F(t) = [\exp((-t / \alpha)^\beta)], \quad \text{Probabilidad de que no falle en un tiempo } t$$

$$TPO = \alpha \Gamma(1 + (1/\beta)), \quad \Gamma = \text{función Gamma}$$

TPO = Tiempo medio de operación - Valor esperado variable aleatoria .

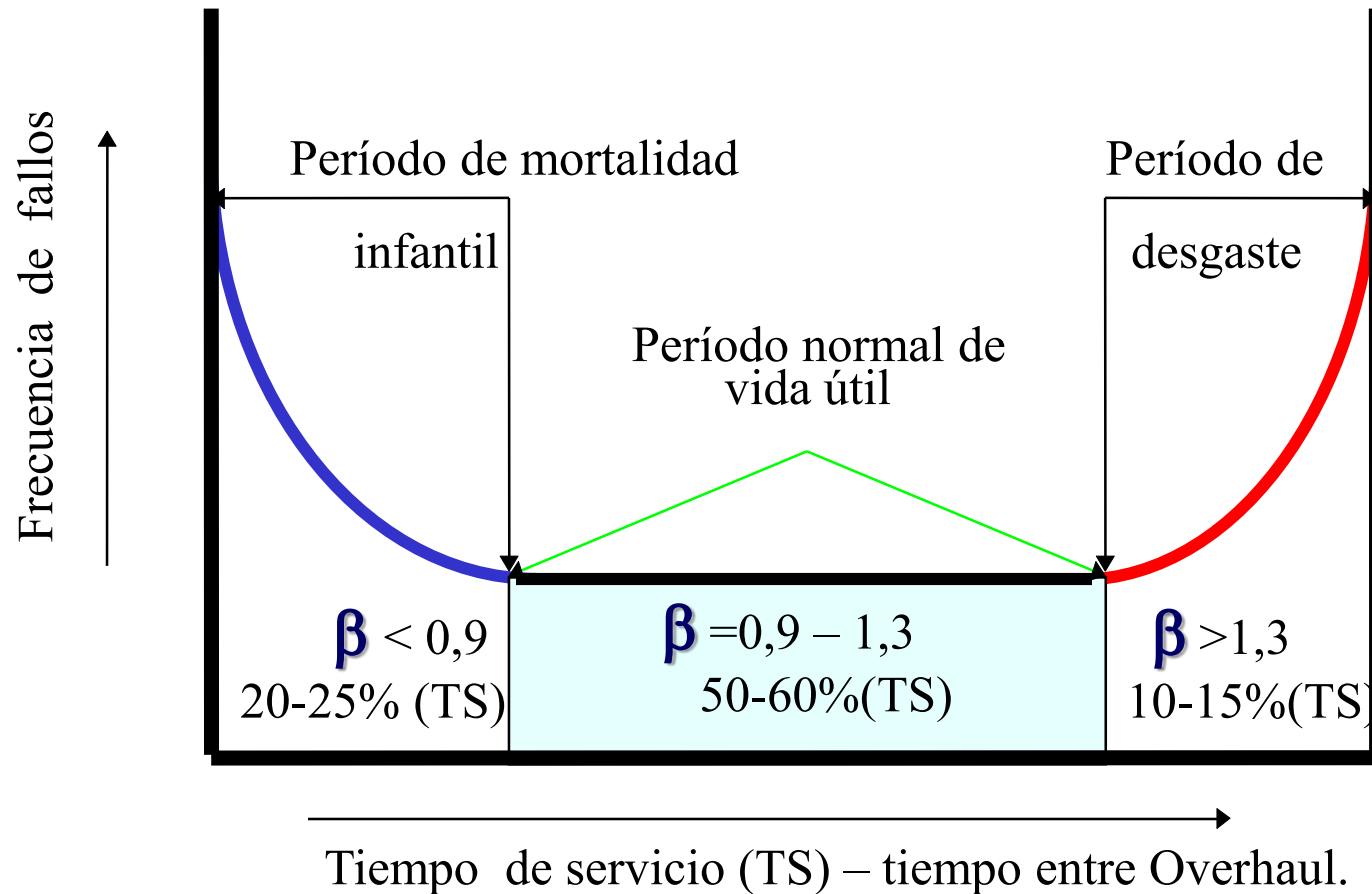
$$h(t) = f(t) / R(t) = \beta \times t^{(\beta-1)} / \alpha^\beta, \quad \text{frecuencia de fallos}$$

t = tiempo evaluación,

$V = \alpha$ = vida característica, depende del MTTF

$\theta = \beta$ = parámetro de forma

COMPORTAMIENTO DE FALLOS / DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.



Curva de Fiabilidad de un equipo.

$$\alpha = \exp \left[\frac{\sum \left[\frac{Ln \left(Ln \left(\frac{1}{1 - \frac{n}{N+1}} \right) \right)}{Ln(ti)} \right] \times Ln(ti)}{\sum \left[\frac{Ln \left(Ln \left(\frac{1}{1 - \frac{n}{N+1}} \right) \right)}{Ln(ti)} \right] - Ln(ti)} - \sum \left[\frac{Ln \left(Ln \left(\frac{1}{1 - \frac{n}{N+1}} \right) \right)}{Ln(ti)} \right] \times Ln(ti)} \right]$$

Donde **n** es el número de evento específico, **N** el número total de eventos y
ti es el tiempo operativo en cuestión

$$\beta = \frac{\sum \frac{\ln \left(\ln \left(\frac{1}{1 - \frac{n}{N+1}} \right) \right)}{\ln (ti)}}{\left(\sum \frac{1}{\ln (ti)} \right) - \left(\ln (\alpha) \sum \left(\frac{1}{\ln (ti)} \right) \right)}$$

Donde **n** es el número de evento específico, **N** el número total de eventos y
ti es el tiempo operativo en cuestión

■ Ejercicio 4:

- Para el siguiente set de datos, utilizar Distribución de Weibull y calcular:
 - Probabilidad de que no falle en un tiempo de 3 meses $R(t)$
 - Probabilidad de fallo para un tiempo de 3 meses $F(t)$
 - Valor esperado (tiempo medio operativo según la distribución)
 - Parámetros de la distribución : β **parámetro de forma** y α **vida característica**
- Registro histórico de fallos (tiempos operativos - meses):
- 2, 2, 3, 3, 3, 5, 5, 5, 5, 4, 4, 6, 7, 7, 6, 6, 6, 4, 3, 4, 4, 3,3
- Determine la frecuencia óptima de mantenimiento

Model Option

- ☐ Exponential
 ☐ Linear Exponential
☒ Weibull
 ☐ Lognormal
☐ Gamma

Fitted Parameters and Model ☐

Parameters

Location
Parameter:

β = parámetro de forma

α = vida característica

$$F(t) = 0,1924$$

t

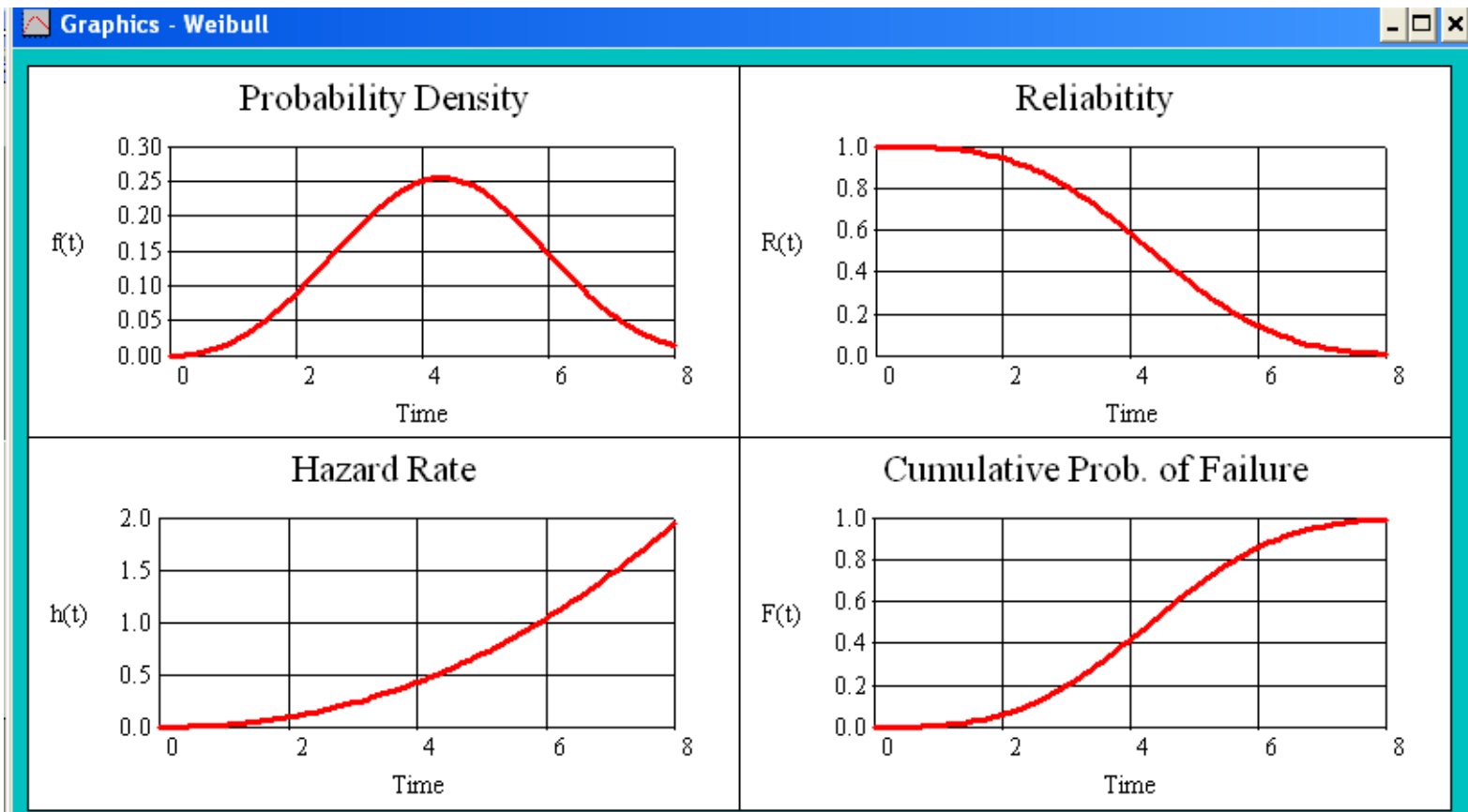
$$R(t) = 0,80676$$

$$h(t) = 0,22809 \text{ fallos/t}$$

Expected Values

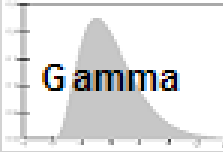
Mean time to failure = 4,35344 meses

Ejecutar el mantenimiento
Preventivo cada:
4 -4,5 meses



Distribuciones estadísticas más comunes:

(para variables aleatorias continuas)

Nombre	Función de densidad	Distribución	Parámetros
 Normal	$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(t-\mu)^2}{\sigma^2} \right]}$	$F(t) = \int f(t) dt$	μ = Media σ = Desviación E estándar
 Lognormal	$f(t) = \frac{1}{\sigma' t \cdot \sqrt{2\pi}} e^{\left[-\frac{(\ln(t)-\mu')^2}{\sigma'^2} \right]}$	$F(t) = \int f(t) dt$	μ' = Media de $\ln(t)$ σ' = Desviación E estándar del $\ln(t)$
 Exponencial	$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$	$F(t) = 1 - e^{-\lambda \cdot t}$	λ = Inverso del promedio
 Gamma	$f(t) = \frac{1}{\beta \cdot \Gamma(\alpha)} \cdot \left[\frac{t}{\beta} \right]^{\alpha-1} \cdot e^{-\frac{t}{\beta}}$	$F(t) = \int f(t) dt$	α = Parámetro de forma β = Parámetro de escala
 Weibull	$f(t) = \frac{\beta \cdot t^{\beta-1}}{\eta^\beta} \cdot e^{\left(-\frac{t}{\eta} \right)^\beta}$	$F(t) = 1 - e^{\left(-\frac{t}{\eta} \right)^\beta}$	β = Parámetro de forma η = Parámetro de escala

Índices a utilizar en el cálculo de ACCV:

- **Media $E(t)$, el valor medio esperado, expresa la tendencia central de la distribución, TPO = 3,5 años, se utiliza para determinar frecuencias de mantenimiento preventivo.**

METODOLOGÍA DE ACCV – MODELO DE WILLIAMS Y SCOTT (DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL)

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

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

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**.
 - CTPF = Costes Totales por Fiabilidad, normalmente dado como valor Anualizado. En este caso se asume tasa de fallos constante calculada a partir del tiempo promedio operativo estimado por la Distribución de Weibull, 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).

CTPF: COSTES TOTALES POR FIABILIDAD

CTPF = Costes totales por fiabilidad/(\$/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 fallos inesperadas, y viene expresado como;

$$\text{CTPF} = \sum_{i=1}^m (F(n) \times Pe)$$

F = frecuencia de ocurrencia de cada modo de fallo para el año n, se calcula a partir del tiempo medio entre fallos de la Distribución probabilística de Weibull; $F = 1/TPO$

**Pe = Tiempo de reparación (TPPR) x (Costes Mant. No Plan. + Costes Penal.)
= (\$/fallos) - (factor Mantenibilidad)**

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

PE - PENALIZACIÓN POR FALLOS

Costes de penalización causados por la aparición de eventos imprevistos (modos de fallos - Mantenibilidad):

- a. Labor: costes directos relacionados con la mano de obra (propia o contratada) en caso de una acción no planificada.
- b. Materiales y repuestos: costes directos relacionados con los consumibles y los repuestos utilizados en caso de una acción no planificada.
- c. Downtime, indisponibilidad, pérdidas de oportunidad, costes de penalización (operacionales, seguridad y ambiente), y /o costes por indisponibilidad generados por la aparición de un modo de fallo imprevisto (evento no programado).

EJERCICIO 5: DE MODELO DE WILLIAMS_Y SCOTT (DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL)

Activo: Sistema de compresión A

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

Datos de Fiabilidad:

- Registro histórico de fallos (tiempos operativos - meses):

2, 2, 3, 3, 3, 5, 5, 5, 5, 4, 4, 6, 7, 7, 6, 6, 6, 4, 3, 4, 4, 3,3

- Tiempo promedio de reparación: 20 horas

- costes de penalización por fallos inesperadas: 1.000\$/hora

- costes del mant. no planificado: 100\$/hora

- Inversión inicial: 450.000\$

- Vida útil esperada: 15 años

- Factor de descuento: 10%

EJERCICIO 5: MODELO DE WILLIAMS_Y SCOTT (DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL)

Activo: Sistema compresión B

Tipos Costes	Frecuencia	Costes \$
Operacionales	Anuales	25.000
Mant. Preventivo	Anuales	4.000
Mant. Mayor	3 años	12.000
Reposición		0

Datos de Fiabilidad:

- Registro histórico de fallos (tiempos operativos - meses):
6, 7, 7, 6, 6, 6, 4, 3, 4, 4

- Tiempo promedio de reparación - horas

8, 12, 9, 10, 15, 10, 7, 6, 8, 7

- costes de penalización por fallos inesperadas: 1.000\$/hora

- costes del mant. no planificado: 100\$/hora

- Inversión inicial: 550.000\$

- Vida útil esperada: 15 años

- Factor de descuento: 10%

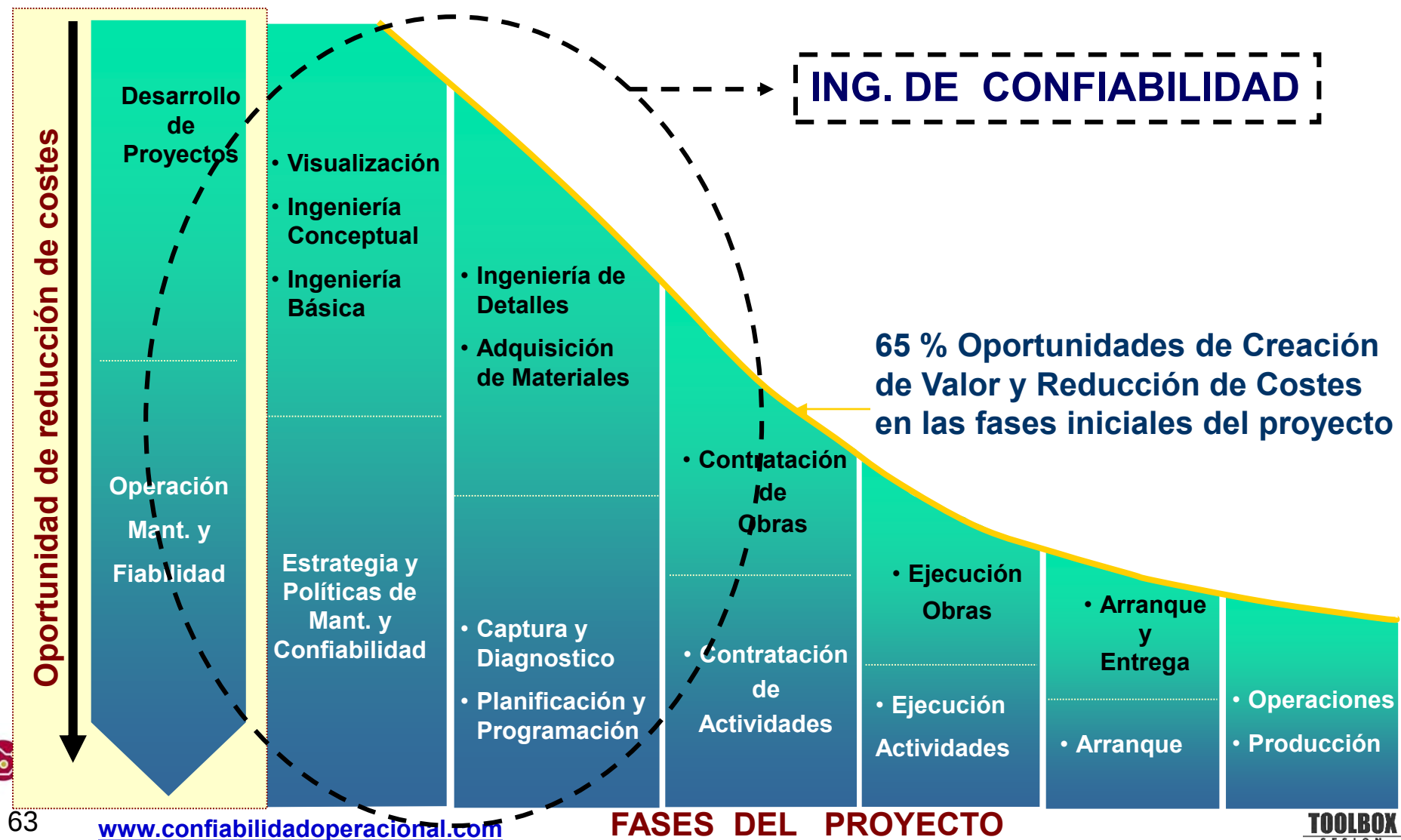
Resultados caso A:

Resultados caso B:

Comparación de resultados

COSTE DE CICLO DE VIDA

OPORTUNIDADES DE CREACION VALOR EN EL CICLO DE VIDA DEL ACTIVO



APLICABILIDAD DEL ANÁLISIS DEL COSTE DE CICLO DE VIDA

La aplicación de la metodología de Análisis del coste del Ciclo de Vida, propicia una perspectiva amplia que permite asociar estrechamente el campo de la economía aplicada a la ingeniería, con el diseño, el desarrollo y la operación de los activos. En términos generales, el uso adecuado de esta metodología, permitirá:

- Identificar el coste del ciclo de vida útil de los activos (nuevos/usados).
- Comparar diferentes opciones (costes de ciclo de vida).
- Seleccionar de forma óptima el activo más adecuado.
- Orientar en el proceso de definición del momento óptimo para reemplazar los activos existentes.

Parte 2:

ANÁLISIS COSTO RIESGO BENEFICIO (ACRB)

- ***Definición de intervalos óptimos de mantenimiento***
- ***Definición de intervalos óptimos de Inspección***

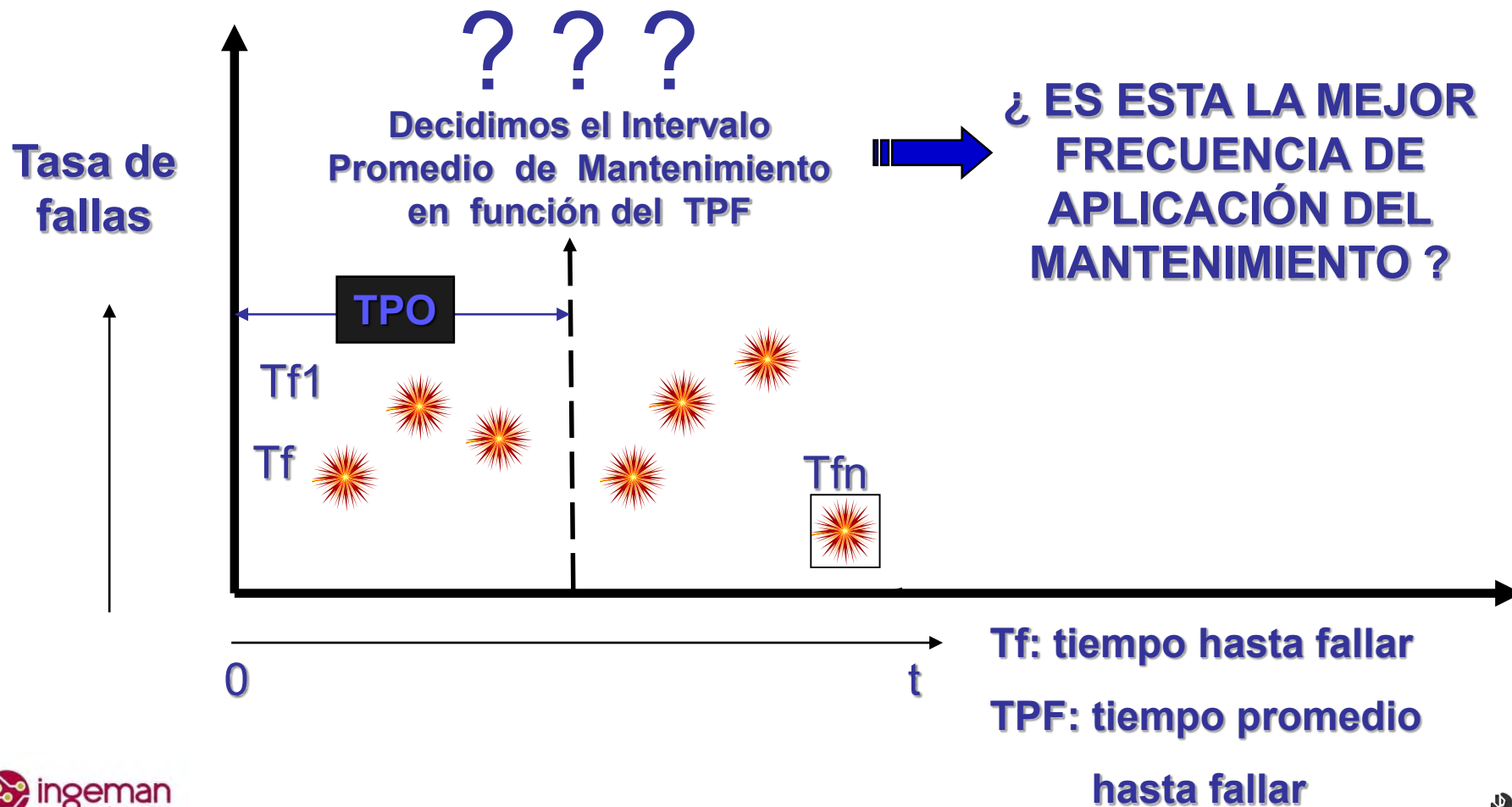
Parte 2:

Optimización de frecuencias de mantenimiento

- ***Teoría Básica .***
- ***Ejemplo de casos realizados.***
- ***Ejercicios propuestos por los participantes.***

DECISIONES CON UNA ALTA INCERTIDUMBRE / VISIÓN TRADICIONAL

LIMITACIONES DE LOS DATOS HISTORICOS



“Preservar la función de los equipos, a partir de la aplicación de estrategias efectivas de mantenimiento, inspección y control de inventarios, que permitan minimizar los riesgos que generan los distintos modos de fallas dentro del contexto operacional y ayuden a maximar la rentabilidad del negocio”.

ANALISIS DE RIESGO

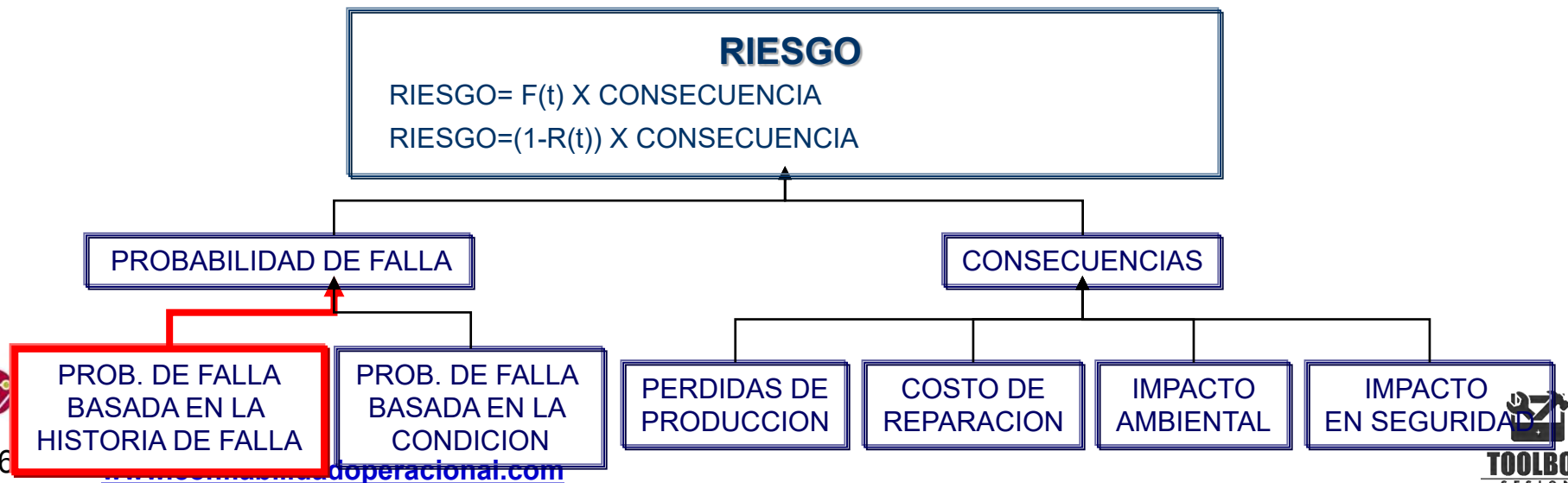
CONCEPTO

EL RIESGO, ES UN TÉRMINO DE NATURALEZA PROBABILÍSTICA, QUE SE DEFINE COMO LA “PROBABILIDAD DE TENER UNA PÉRDIDA”. Y COMÚNMENTE SE EXPRESA EN UNIDADES MONETARIAS (\$).MATEMÁTICAMENTE, EL RIESGO SE CALCULA CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

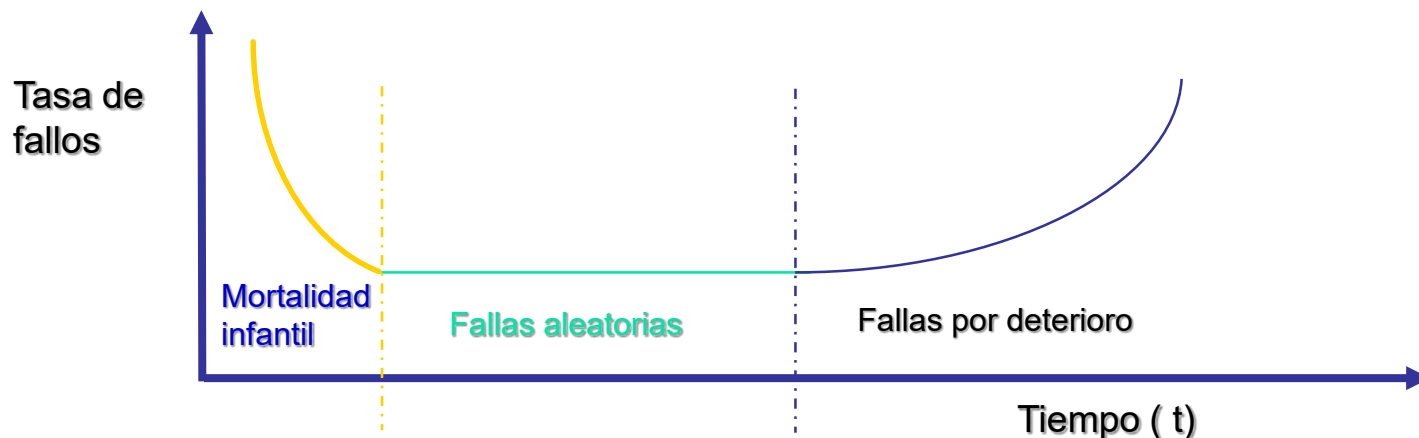
RIESGO(t)=PROBABILIDAD DE FALLA(t) X CONSECUENCIAS

EL ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DEL RIESGO, PERMITE ENTENDER EL PODER DE ESTE INDICADOR PARA EL DIAGNÓSTICO Y LA TOMA DE DECISIONES, DEBIDO A QUE, EL MISMO COMBINA PROBABILIDADES O FRECUENCIAS DE fallaS CON CONSECUENCIAS, PERMITIENDO POR EJEMPLO, LA COMPARACIÓN DE UNIDADES COMO LOS EQUIPOS ROTATIVOS, QUE NORMALMENTE PRESENTAN ALTA FRECUENCIA DE fallaS CON BAJAS CONSECUENCIAS, CON EQUIPOS ESTÁTICOS, QUE NORMALMENTE PRESENTAN PATRONES DE BAJA FRECUENCIA DE fallaS Y ALTA CONSECUENCIA.

EL RIESGO, SE COMPORTA COMO UNA BALANZA, QUE PERMITE PESAR LA INFLUENCIA DE AMBAS MAGNITUDES (PROBABILIDAD DE falla Y CONSECUENCIA DEL falla) EN UNA DECISIÓN PARTICULAR.



FRECUENCIA DE FALLOS (MODELO ESTADÍSTICO)



PERÍODO DE FALLAS		EJEMPLOS
Mortalidad Infantil (riesgo introducido por mantenimiento)	➡	2-5 % fallas en las primeras 3-4 semanas debidos a la propia acción de mantenimiento
Fallas Aleatorias (riesgo aleatorio)	➡	1 falla cada 4-5 años o el 80-90% llega OK al primer año
Fallas por deterioro	➡	Menor tiempo de falla posible: 12 meses Mayor tiempo posible <u>sin</u> fallas: 5 años

→ *Definición de la actividad a ejecutar - preventiva:*

Costos del escenario planificado (CP):

→ *Recurso humano - Labor*

→ *Materiales*

→ *Gastos generales (electricidad, edificios, administrativos)*

→ *Downtime , indisponibilidad, pérdidas de oportunidad*

COSTO GENERADOS POR LOS EVENTOS - INESPERADOS

Costos del escenario No Planificado (CNP):

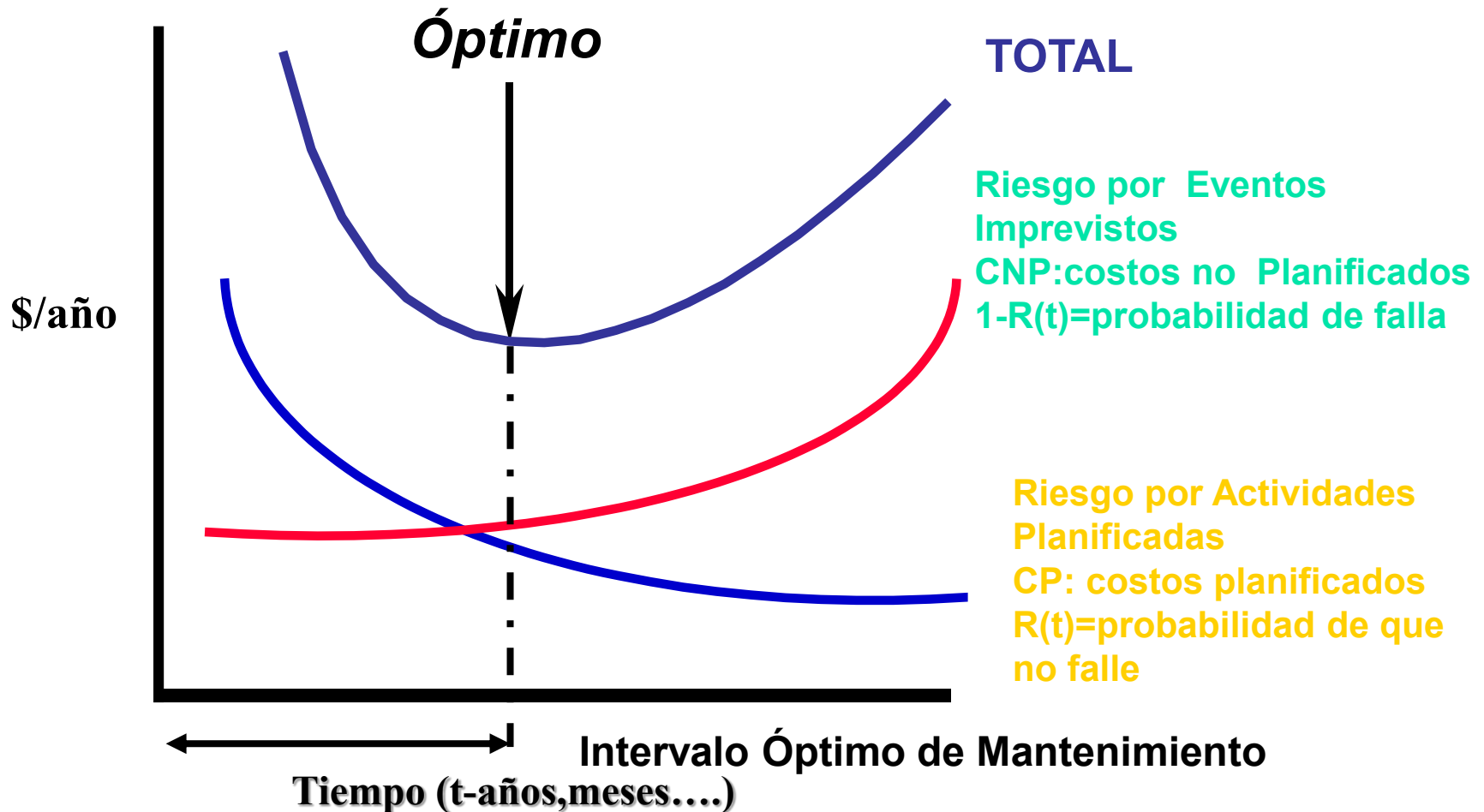
→ *Labor*

→ *Materiales*

→ *Gastos fijos*

→ *Downtime , indisponibilidad, pérdidas de oportunidad, penalizaciones*

$$\text{RIESGO TOTAL} = \text{CNP} \times (F(t) / t) + \text{CP} \times (R(t) / t)$$



SI LA ACCION PROPUESTA SE EJECUTA A UNA FRECUENCIA QUE CORRESPONDE A :

- 1.- EL PUNTO ÓPTIMO => MINIMO IMPACTO EN EL NEGOCIO
- 2.- LA DERECHA DEL PUNTO ÓPTIMO => SE ESTA ASUMIENDO MUCHO RIESGO
- 3.- LA IZQUIERDA DEL PUNTO ÓPTIMO => SE ESTA GASTANDO MUCHO DINERO

Comportamiento histórico del modo de falla Z (Weibull)

• **t R(t) F(t)**

1	0,999125693	0,00087431
3	0,993700577	0,00629942
5	0,984276002	0,015724
7	0,97137541	0,02862459
9	0,955371291	0,04462871
11	0,936582161	0,06341784
13	0,915301478	0,08469852
15	0,891808935	0,10819106
17	0,866375135	0,13362487
19	0,839263286	0,16073671
21	0,810729444	0,18927056
23	0,781021983	0,21897802
25	0,750380709	0,24961929
27	0,719035796	0,2809642
29	0,687206709	0,31279329

MODELO:

$$\text{RIESGO TOTAL} = \text{CNP} \times (F(t) / t) + \text{CP} \times (R(t) / t)$$

TPO (distribución Weibull): 44,5 meses

Parámetro de forma: 1,8

Vida característica : 50 meses

Costos Actividad

Planificada (CP): 5000 \$

Costos Actividad No

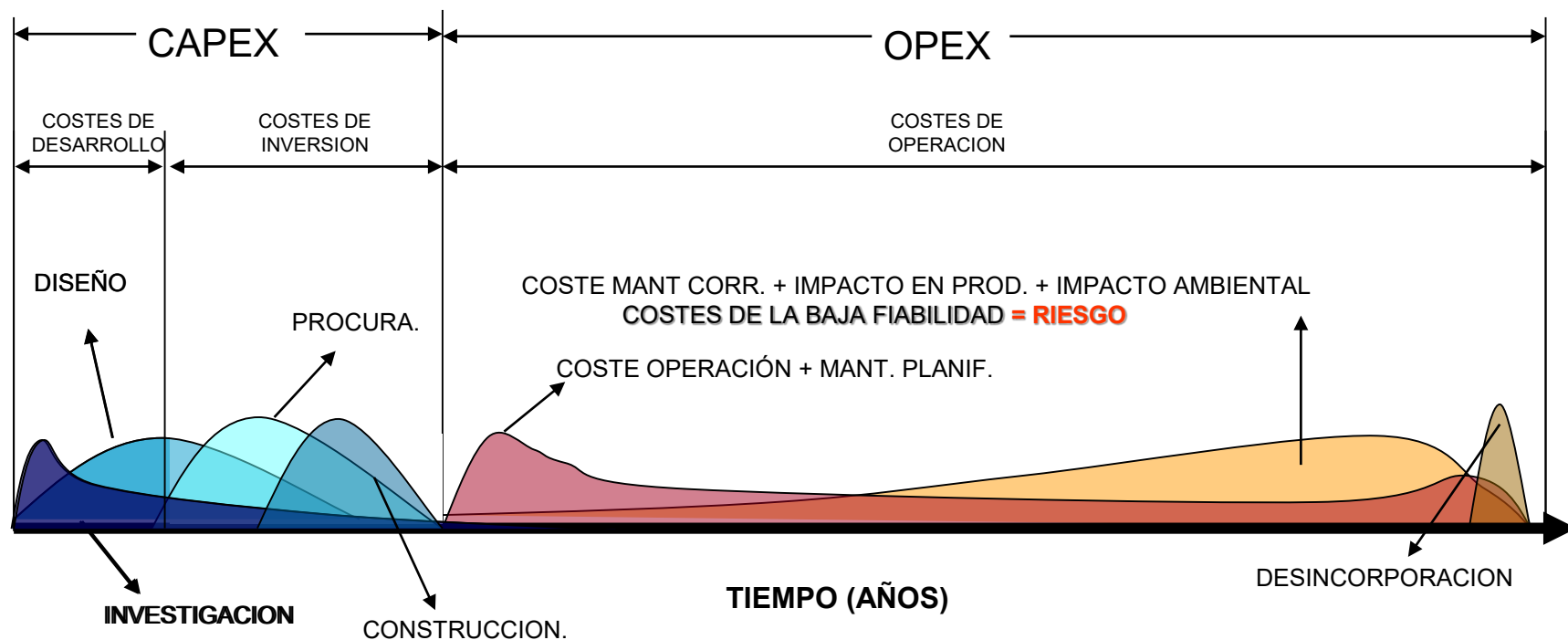
Planificada (CNP): 60000 \$

Cuál es el mejor intervalo de mantenimiento?

RESULTADOS DEL PROBLEMA PROPUESTO

RESULTADOS DEL PROBLEMA PROPUESTO

RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE COSTE DE CICLO DE VIDA



VENTAJAS DEL ANÁLISIS COSTO RIESGO BENEFICIO

- *Controlar (minimizar) el Riesgo*
- *Mejorar la eficiencia de las Plantas*
- *Prolongar la vida útil de los activos*
- *Disminuir las paradas imprevistas*
- *Ayudar a cumplir con las metas de producción propuestas y con las regulaciones ambientales y de seguridad*
- *Seguridad, ambiente*
- *Brillo*

REFLEXIONES ACERCA DEL IMPACTO DE LA FIABILIDAD EN EL CICLO DE VIDA DE LOS ACTIVOS

- *Es de gran importancia, aquellas decisiones relacionadas con el proceso de mejoramiento de la Fiabilidad de los activos (calidad del diseño, tecnología utilizada, complejidad técnica, frecuencia de fallos, 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.*

Las distintas áreas de producción y operación se ven afectadas especialmente por la frecuencia con que ocurren los modos de fallas y las consecuencias que originan los mismos (indisponibilidad, costos operacionales, costos de mantenimiento, costos de reposición (repuestos) y efectos sobre la seguridad y el ambiente).

A partir del uso adecuado de las herramientas de análisis costo riesgo beneficio, se pueden identificar de forma óptima: las frecuencias de aplicación de las distintas actividades de mantenimiento e inspección y el nivel de inventario requerido, optimando de esta forma, el proceso de toma de decisiones dentro de las gestiones de mantenimiento

GRACIAS POR SU ATENCIÓN.....



PhD. MSc. Eng. Carlos Parra

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

Representante de INGEMAN Latinoamérica

www.confiabilidadoperacional.com

www.ingeman.net

E-mail: parrac@ingecon.net.in

parrac37@gmail.com

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, gyolines@ingecon.net.in

Teléfono: +507 64128570 (Panamá) Personal certificado ICOGAM: <https://lnkd.in/e4x>



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, 1998**, "Life Cycle Costing and Economic Analysis", Prentice Hall, Inc, Englewood Cliff, New Jersey.
- **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.
- **Woodhouse, Jhon, 1999**, "Análisis de costes del Ciclo de Vida – APT Lifespan" / WOODHOUSE PARTNERSHIP LIMITED, Curso de adiestramiento PDVSA INTEVEP, Venezuela.
- **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.

Dirección electrónica personal:

parrac37@yahoo.com

www.confiableidadoperacional.com

www.confiableidadoperacional.com

Anexos

Seleccione uno de los activos en función del análisis de los siguientes datos:

Activo	Costos de Adquisición	Costos Mant. Preventivo Anual	Costos Mantenimiento Mayor	Costos Operacionales Anual
1 Nuevo	1400 M\$	18 M\$	50 M\$ - 5 años	25 M\$
2 (Viejo-Repotenciado)	900 M\$	10 M\$	40 M\$ - 3 años	26 M\$

Expectativa de vida : 15 años

Costos de penalización por fallas: 0,1 M\$/hora

Tasa de descuento: 10%

Ver patrón de fallas a continuación.

FALLAS ACTIVO 1

TO Dia(s)	TFS Dia(s)
90	2
130	3
160	4
234	12
234	13
216	12
234	12
234	12
129	5
323	7
345	2
256	9
324	12
198	13
234	7
198	7

TO DÍAS TFS DÍAS

24	8
427	8
401	8
20	7
13	8
28	7
29	6
444	7
39	9
103	7
98	7
10	9
145	9
148	8
488	8
100	7

1. Para los dos equipos calcular:

- Probabilidad de que no falle en un tiempo de (180 días) $R(t)$ - Weibull
- Probabilidad de falla para un tiempo de (180 días) $F(t)$ - Weibull
- Tiempo medio operativo según la distribución Weibull
- Tiempo medio fuera de servicio (promedio aritmético)
- # esperado de fallas totales al año en función de tiempo medio operativo

En función de los resultados de Confiabilidad y los datos económicos suministrados:

- Calcule el costo anual equivalente de cada opción y emita sus recomendaciones al respecto?

****La penalización anual calcularla con el tiempo medio fuera de servicio del equipo y el número de fallas totales esperadas por año - calculado en la parte 1.**

- Como afecta el factor confiabilidad a estos sistemas . Explique por qué?

- Que recomendaría usted con respecto a la continuidad operacional de estos equipos?

Argumente su respuesta.

Índices:

1.Confiabilidad /Distribución

Weibull:

- $R(t= 180 \text{ días})=$ %
- $F(t= 180 \text{ días})=$ %
- TPO= días
- # Fallas / año:

2.Mantenibilidad:

- TPFS= días

ACCV:

1.Inversión:

2.Mant. Preventivo:

3.Mant. Mayor:

4.Costos Oper.:

5.Penalizaciones:

ACCV(P):

Índices:

1.Confiabilidad /Distribución

Weibull:

- $R(t= 180 \text{ días})=$ %
- $F(t= 180 \text{ días})=$ %
- TPO= días
- # Fallas / año:

2.Mantenibilidad:

- TPFS= días

ACCV:

1.Inversión:

2.Mant. Preventivo:

3.Mant. Mayor:

4.Costos Oper.:

5.Penalizaciones:

ACCV(P):

RESUMEN DE RESULTADOS

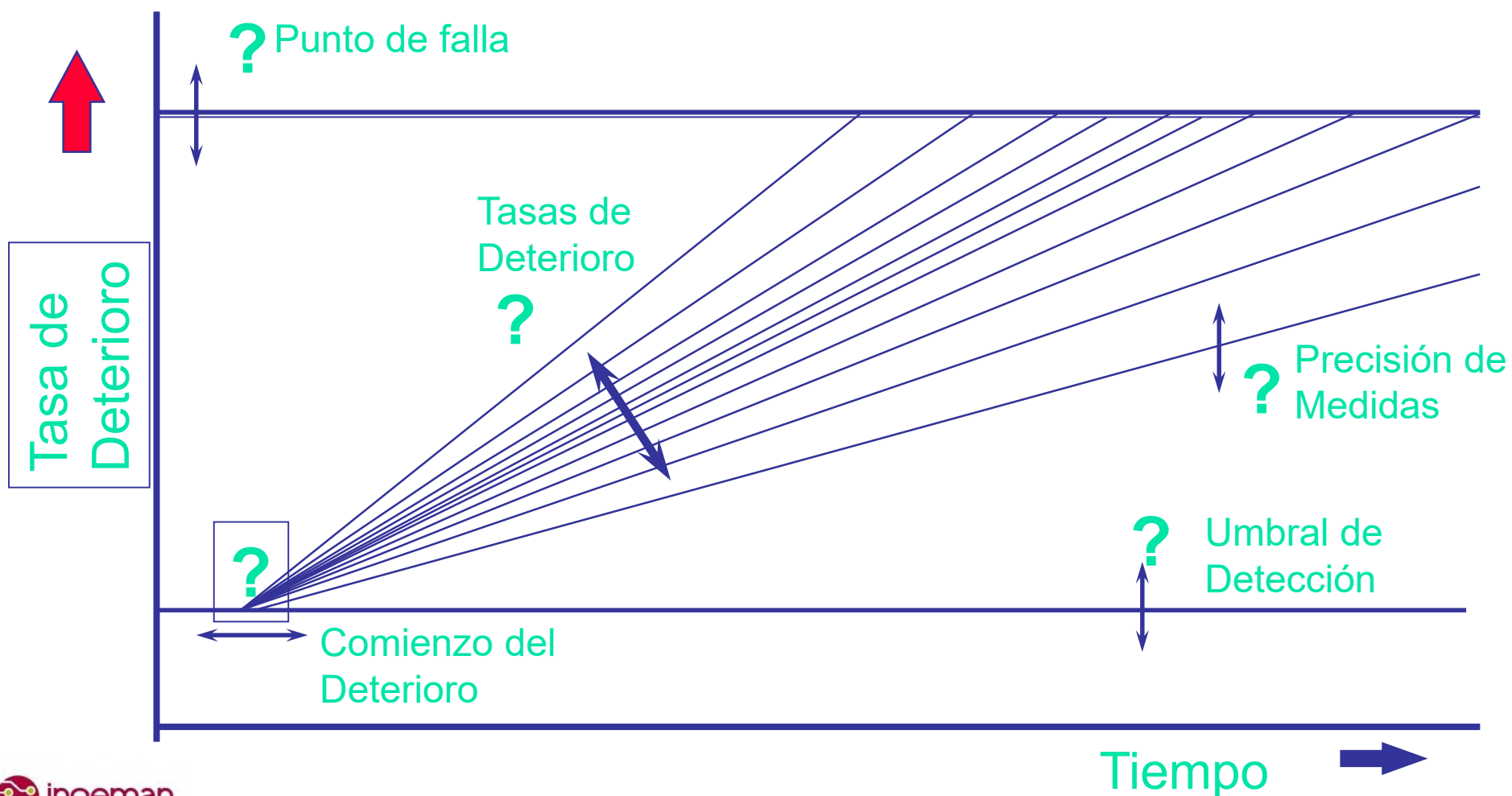
Índices	Costo Anual Equivalente:
Activo 1 R(t= 180 días)= % F(t= 180 días)= % TPO= días # Fallas / año: TPFS= días	Activo 1: Inversión inicial: Costo total anual equivalente (10%): % costos de Fiabilidad:
Activo 2: R(t= 180 días)= % F(t= 180 días)= % TPO= días # Fallas / año: TPFS= días	Activo 2: Inversión inicial: Costo Anual Equivalente (10%): % costos de Fiabilidad:

***Selección óptima de la frecuencia de inspección
utilizando herramientas de análisis
Costo Riesgo Beneficio***

¿Por qué inspeccionar de forma preventiva ?

- *Monitorear condiciones físicas que permitan: prevenir fallas, controlar procesos de deterioro y desgaste y/o determinar niveles de eficiencia.*
- *Detectar si una función esta en estado de falla oculta (equipos de instrumentación, control y seguridad).*
- *Calibrar equipos y asegurar que la precisión de los mismos se encuentra dentro de los límites permitidos (instrumentación)*
- *Controlar el Riesgo y ayudar a minimizar las consecuencias de modos de fallas específicos*
- *Prolongar la vida útil de los activos*
- *Crear un ambiente de seguridad dentro de las áreas operacionales*
- *Cumplir con regulaciones y leyes*

DECISIONES CON UNA ALTA INCERTIDUMBRE



- Las frecuencias de aplicación de las estrategias de inspección tienen que estar basadas no sólo en el proceso de deterioro del equipo, sino que a su vez, se deben considerar las consecuencias que generaría la pérdida de función del equipo a ser evaluado.



Evaluación de Consecuencias por no
inspeccionar: impacto operacional,
seguridad, ambiente
(impacto económico)

CRITERIOS EVALUADOS POR EL ANÁLISIS COSTO RIESGO BENEFICIO



ANALISIS DE RIESGO

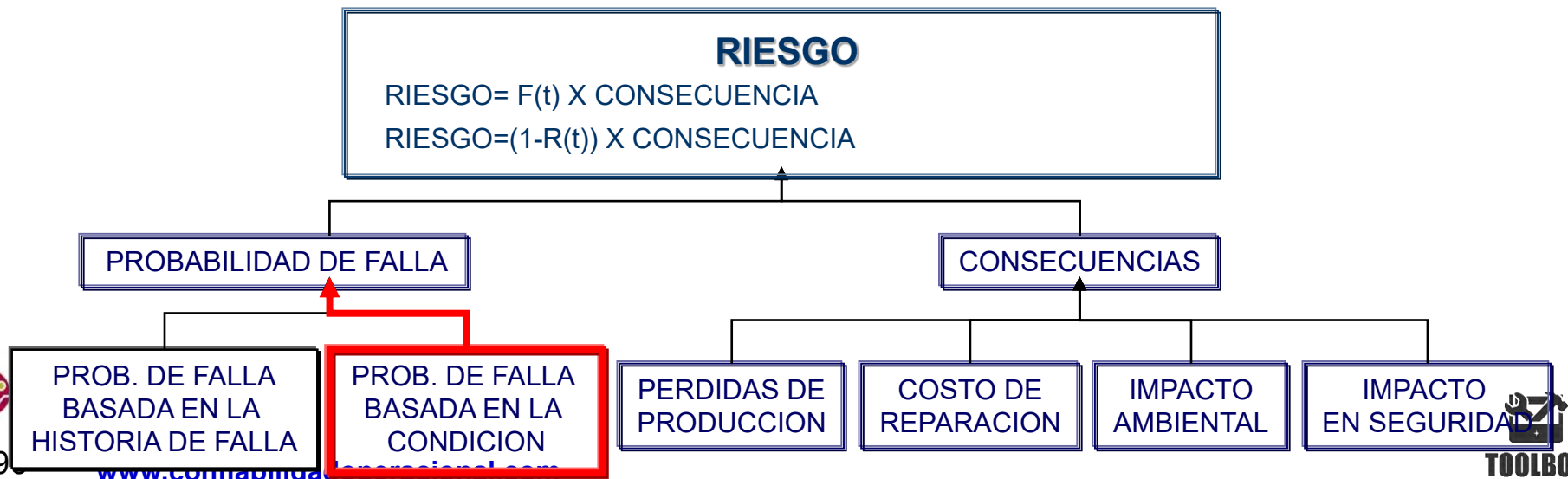
CONCEPTO

EL RIESGO, ES UN TÉRMINO DE NATURALEZA PROBABILÍSTICA, QUE SE DEFINE COMO LA “PROBABILIDAD DE TENER UNA PÉRDIDA”. Y COMÚNMENTE SE EXPRESA EN UNIDADES MONETARIAS (\$).MATEMÁTICAMENTE, EL RIESGO SE CALCULA CON LA SIGUIENTE ECUACIÓN:

RIESGO(t)=PROBABILIDAD DE FALLA(t) X CONSECUENCIAS

EL ANÁLISIS DE LA ECUACIÓN DEL RIESGO, PERMITE ENTENDER EL PODER DE ESTE INDICADOR PARA EL DIAGNÓSTICO Y LA TOMA DE DECISIONES, DEBIDO A QUE, EL MISMO COMBINA PROBABILIDADES O FRECUENCIAS DE fallaS CON CONSECUENCIAS, PERMITIENDO POR EJEMPLO, LA COMPARACIÓN DE UNIDADES COMO LOS EQUIPOS ROTATIVOS, QUE NORMALMENTE PRESENTAN ALTA FRECUENCIA DE fallaS CON BAJAS CONSECUENCIAS, CON EQUIPOS ESTÁTICOS, QUE NORMALMENTE PRESENTAN PATRONES DE BAJA FRECUENCIA DE fallaS Y ALTA CONSECUENCIA.

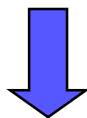
EL RIESGO, SE COMPORTA COMO UNA BALANZA, QUE PERMITE PESAR LA INFLUENCIA DE AMBAS MAGNITUDES (PROBABILIDAD DE falla Y CONSECUENCIA DEL falla) EN UNA DECISIÓN PARTICULAR.



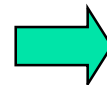
Definición de la estrategia a evaluar



Factores a evaluar:
Tipo de inspección para
Prevenir fallas
Costos Directos (labor
& materiales)
Penalizaciones (Opor.
perd., pérdida producc. etc.)



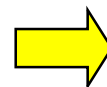
Recopilación de Datos & Filtrado



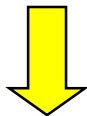
Proceso de deterioro
Data registrada (última medición,
valor promedio de deterioro)
Límite máximo permitido de deterioro
Costos por ocurrencia de fallas
imprevistas (directos / penalización)



Análisis de La Incertidumbre



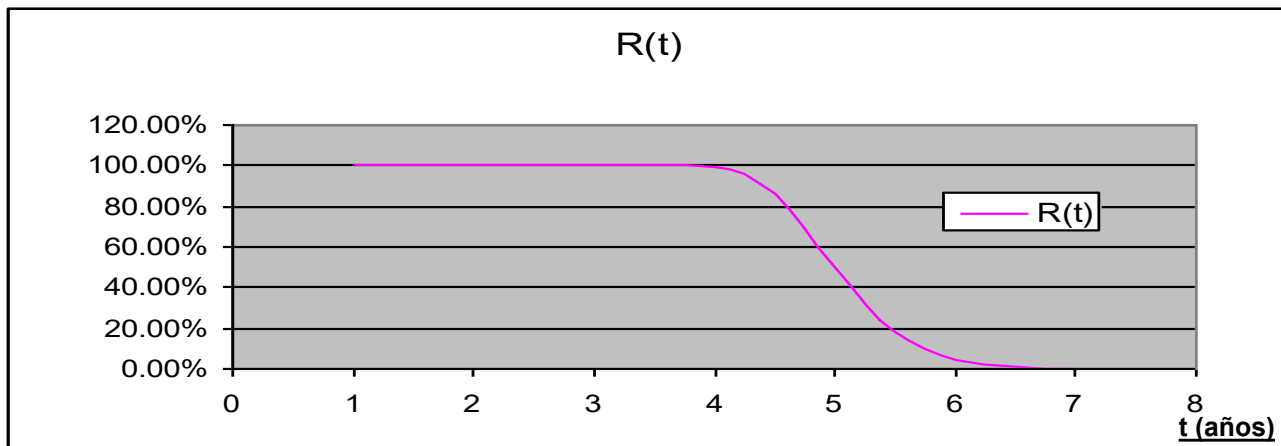
Peor y Mejor Caso
Pruebas de Sensibilidad
Evaluar opciones alternativas



Conclusiones y justificaciones Costo/Riesgo

MODELO ESFUERZO RESISTENCIA (PROCESOS DE DETERIORO)

DISTRIBUCIÓN NORMAL ESTANDARIZADA



Espesor Original (Eo) (t=0) Datos: Eo (pulg): 2	Esfuerzo: Condición monitoreada TASA DE CORROSIÓN (pulg/año) Datos: Media (μ) (pulg/año): 0.1 Desviación estándar (σ): 0.01	Resistencia: Límite de la condición ESPESOR LÍMITE (El) Datos: El (pulg): 1.5
---	--	---

$$R(t) = 1 - F(z(t))$$

$$z(t) = \frac{(El - Em(t))}{De(t)}$$

$$Em(t) = Eo - (\mu \times t)$$

$$De(t) = t \times \sigma$$

Donde $F(z(t))$, probabilidad de falla
(Distribución Normal Estandarizada)

→ Definición de la inspección a ejecutar - preventiva:

Costos del escenario planificado (CP):

→ Recurso humano - Labor

→ Materiales

→ Gastos generales (electricidad, edificios, administrativos)

→ Downtime , indisponibilidad, pérdidas de oportunidad

COSTO GENERADOS POR LOS EVENTOS - INESPERADOS

Costos del escenario No Planificado (CNP):

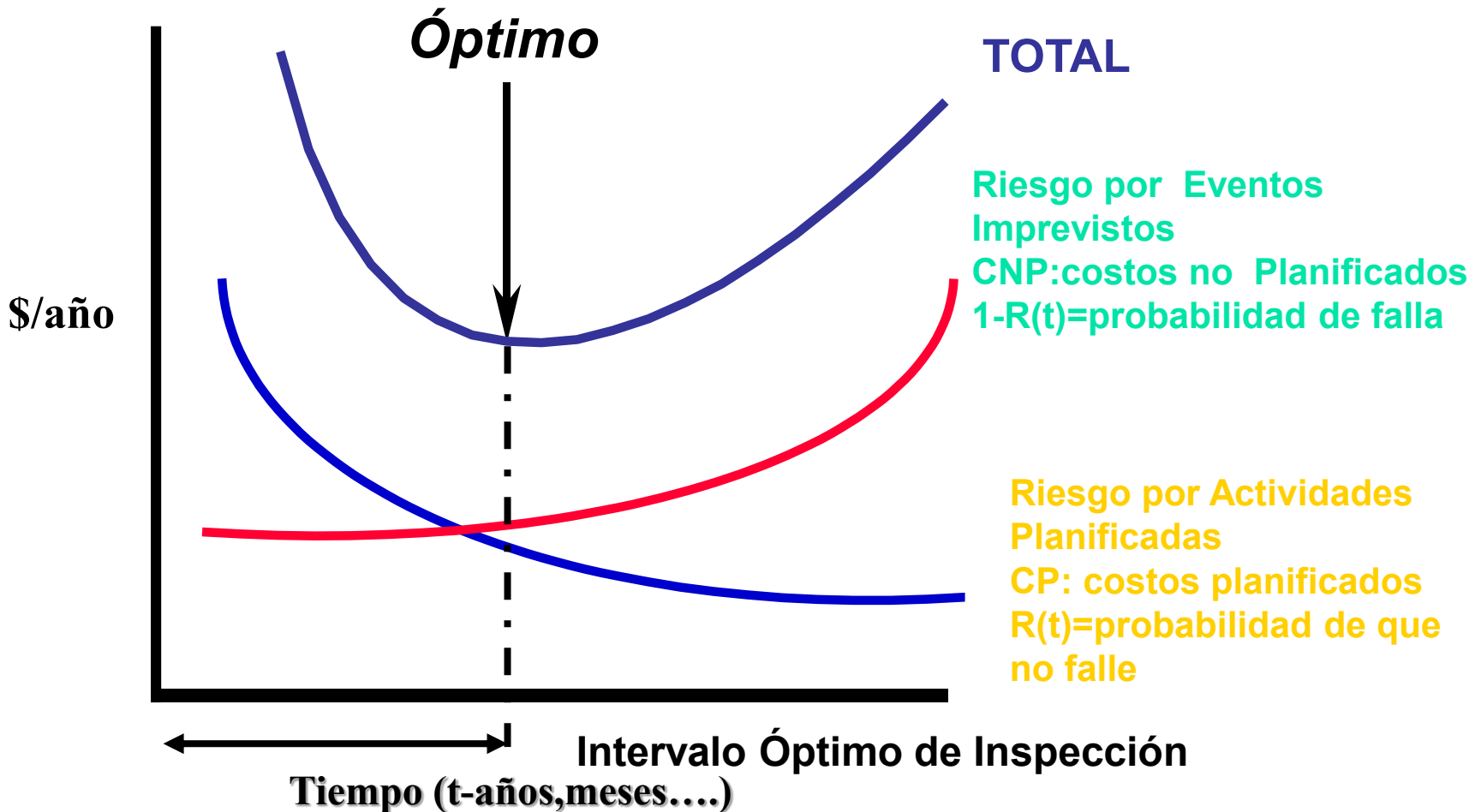
→ *Labor*

→ *Materiales*

→ *Gastos fijos*

→ *Downtime , indisponibilidad, pérdidas de oportunidad, penalizaciones*

$$\text{RIESGO TOTAL} = \text{CNP} \times (F(t) / t) + \text{CP} \times (R(t) / t)$$



SI LA ACCION PROPUESTA SE EJECUTA A UNA FRECUENCIA QUE CORRESPONDE A :

- 1.- EL PUNTO ÓPTIMO => MINIMO IMPACTO EN EL NEGOCIO
- 2.- LA DERECHA DEL PUNTO ÓPTIMO => SE ESTA ASUMIENDO MUCHO RIESGO
- 3.- LA IZQUIERDA DEL PUNTO ÓPTIMO => SE ESTA GASTANDO MUCHO DINERO

Ejercicio 9

Datos del proceso de deterioro

Espesor Original (Eo) (t=0) Datos: Eo (pulg): 2	Esfuerzo: Condición monitoreada TASA DE CORROSIÓN (pulg/año) Datos: Media (μ) (pulg/año): 0.1 Desviación estándar (σ): 0.01	Resistencia: Límite de la condición ESPESOR LÍMITE (El) Datos: El (pulg): 1.5
--	---	--

Datos económicos:

CP(costos planificados por realizar la inspección de la condición - costos de monitorear la condición (inspección)) (\$): 200.000 \$

CNP (costos no planificados por el evento de falla - costos por no inpeccionar) (\$): 1.000.000 \$

Propuesta: Determinar si resulta beneficioso realizar mediciones de espesores a 26 Km de tubería de 26 pulg. con la técnica de medición electromagnética y definir la frecuencia óptima de inspección.

- Utilizar la hoja en excel