

Capítulo III:

Modelos de confiabilidad

ME57A - Mantenimiento de Maquinaria

Canek Jackson De Castro

cjackson@ing.uchile.cl

21 Sep - 29 Oct 2009

En este capítulo...

- Tasa de fallas y vida remanente esperada
- Mantenibilidad y disponibilidad
- Estimación de parámetros
- Verificación de modelos

Probabilistic modeling and statistical analysis by themselves cannot directly contribute to improving reliability.

H. Ascher

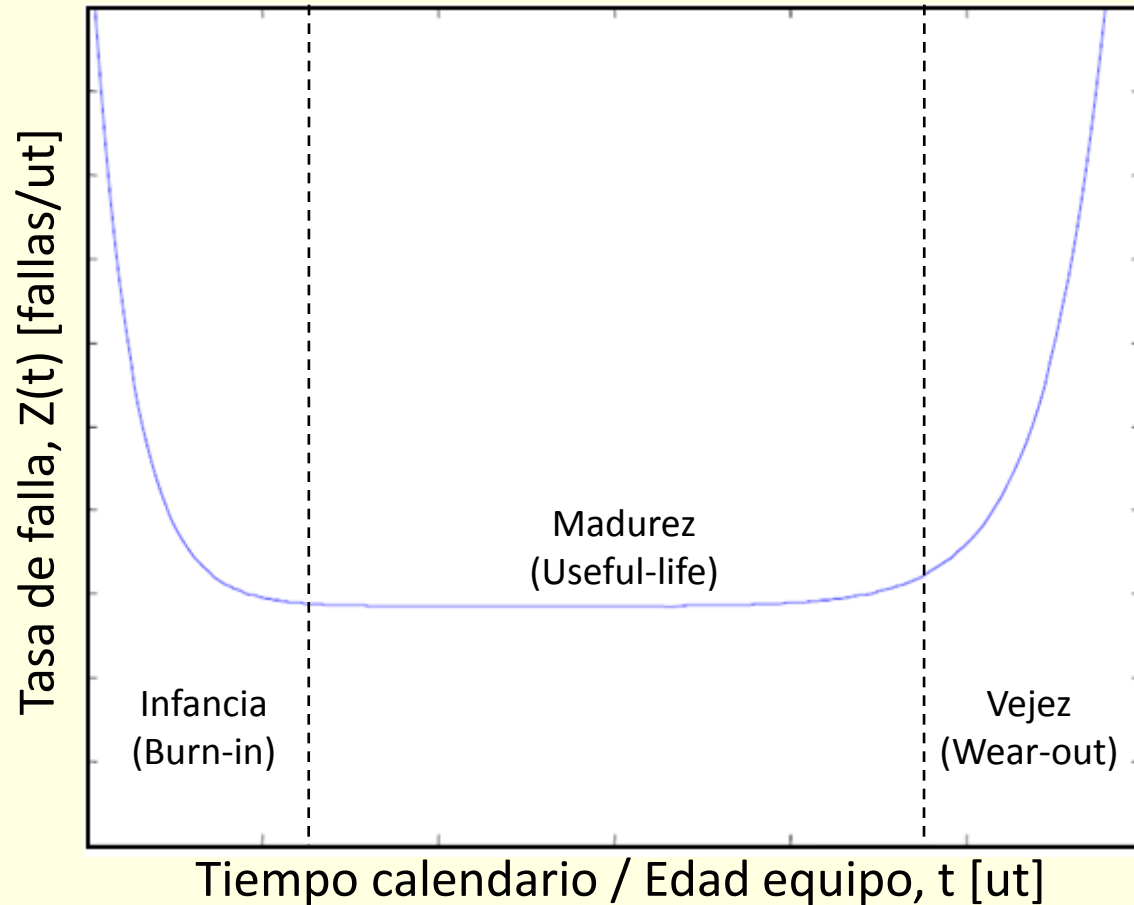
Definiciones (Normas ISO)

- Quality: The totality of features and characteristics of a product or service that bear on its ability to satisfy stated or implied needs (ISO8402)
- Reliability: The ability of an item to perform a required function, under given environmental and operational conditions and for a stated period of time (ISO8402)

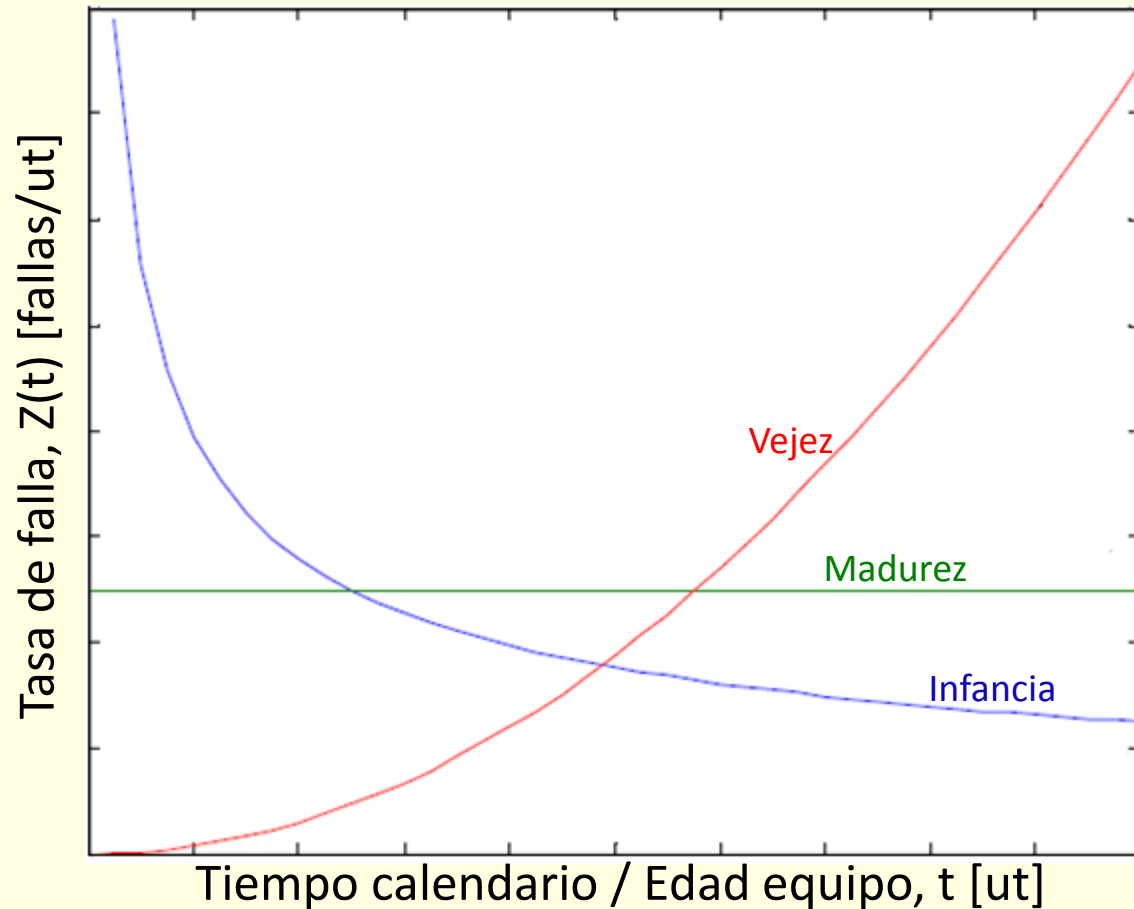
Fallas y no-confiabilidad

- $f(t)$ = Función de densidad probabilística para el tiempo de ocurrencia de la falla en función del tiempo t
- $F(t)$ = Probabilidad de que un sistema falle antes de t unidades de tiempo (no-confiabilidad)
- MTTF = Tiempo medio para fallar (mean time to fail)

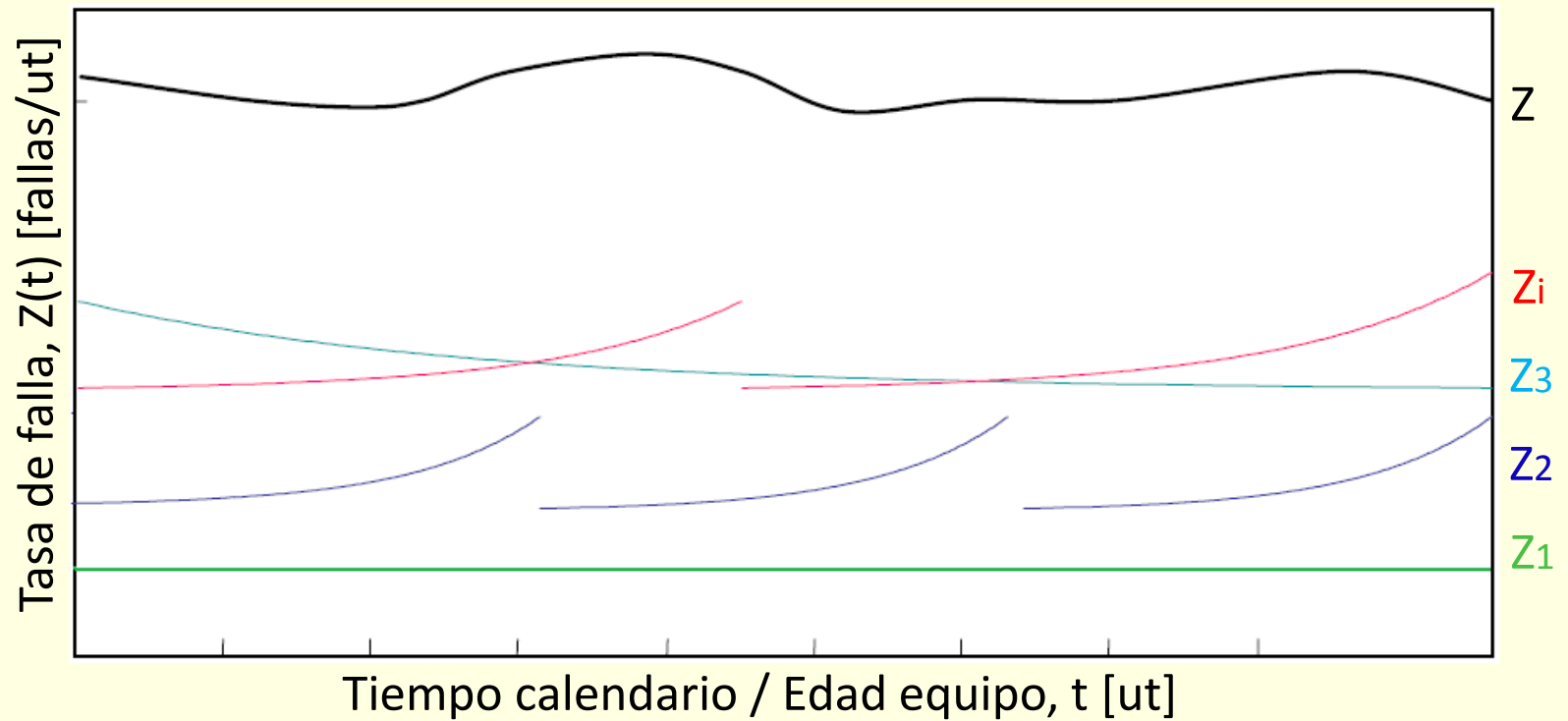
Curva de la bañera (bathtub curve)



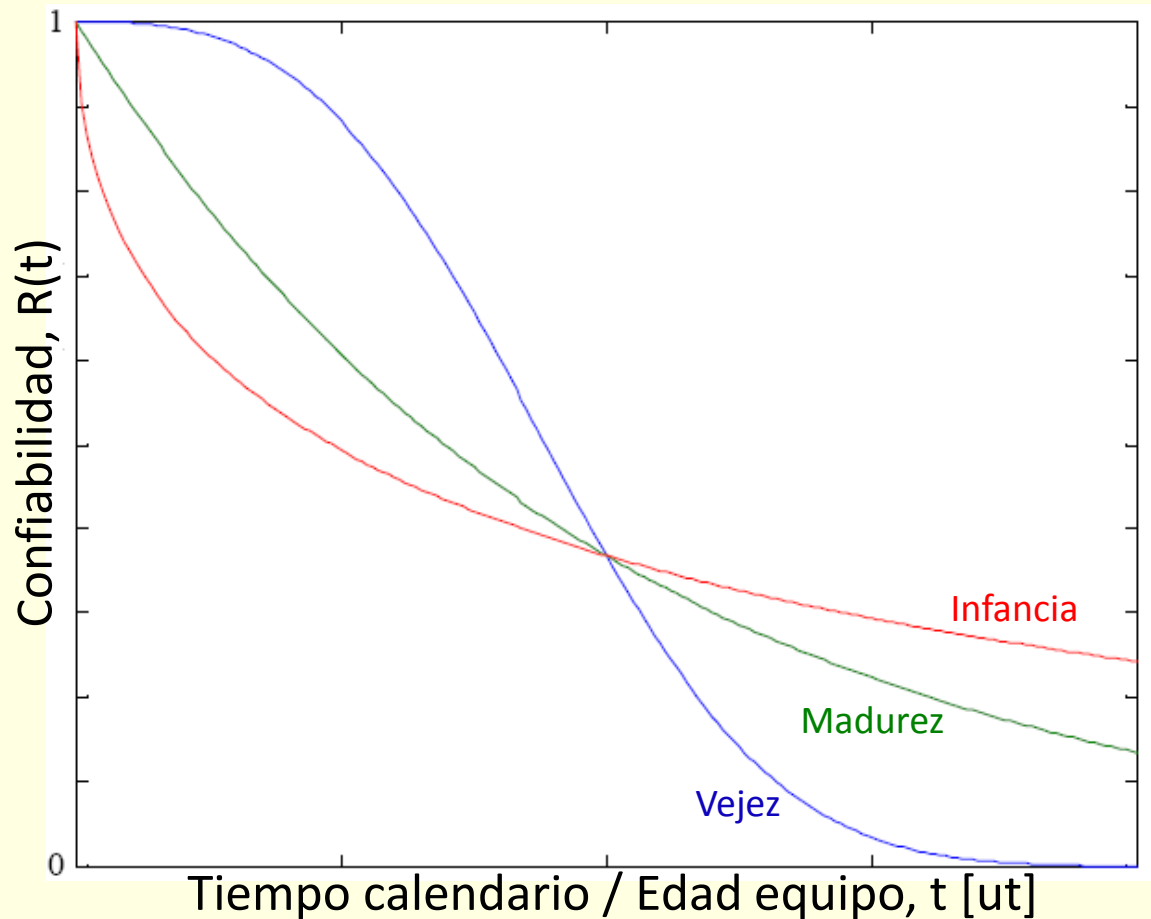
Tasa de falla (failure rate)



Tasa de falla compuesta



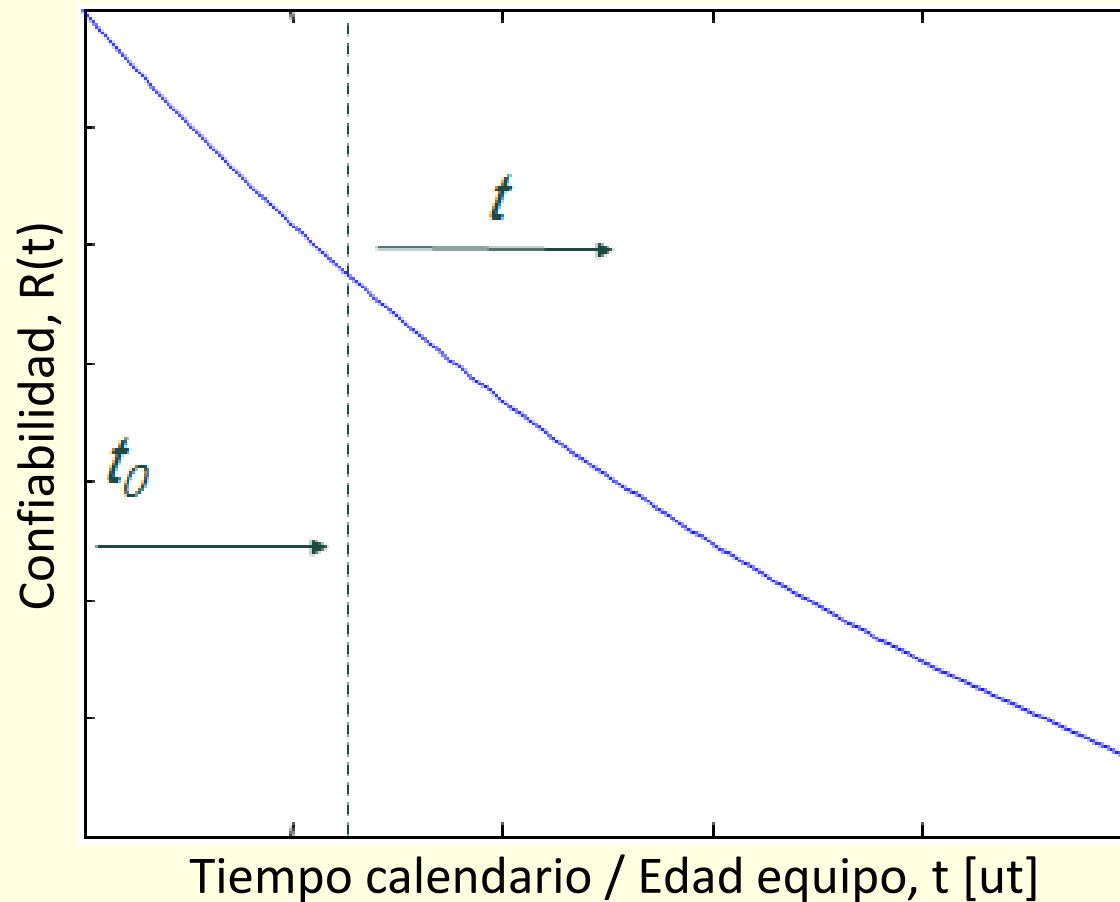
Confiabilidad (reliability)



Relaciones entre funciones

Expressed by	$F(t)$	$f(t)$	$R(t)$	$z(t)$
$F(t) =$	–	$\int_0^t f(u) du$	$1 - R(t)$	$1 - \exp\left(-\int_0^t z(u) du\right)$
$f(t) =$	$\frac{d}{dt}F(t)$	–	$-\frac{d}{dt}R(t)$	$z(t) \cdot \exp\left(-\int_0^t z(u) du\right)$
$R(t) =$	$1 - F(t)$	$\int_t^\infty f(u) du$	–	$\exp\left(-\int_0^t z(u) du\right)$
$z(t) =$	$\frac{dF(t)/dt}{1 - F(t)}$	$\frac{f(t)}{\int_t^\infty f(u) du}$	$-\frac{d}{dt} \ln R(t)$	–

Aplicación del “Teorema de Bayes”



Vida remanente esperada

- $f_{t_0}(t)$ = Función de densidad probabilística para la ocurrencia de la falla en función del tiempo t , dado que esta no ha ocurrido hasta t_0 unidades de tiempo
- $R_{t_0}(t)$ = Probabilidad de que un sistema NO falle antes de t unidades de tiempo, dado que ha sobrevivido hasta t_0 unidades de tiempo
- MRL = Vida remanente esperada (mean remaining life)

Distribuciones estadísticas

- Un parámetro (1P)

- Poisson
- Exponencial

- Dos parámetros (2P)

- Binomial
- Normal (Gaussiana)

- Tres parámetros y más

- Weibull
- Bi-Weibull

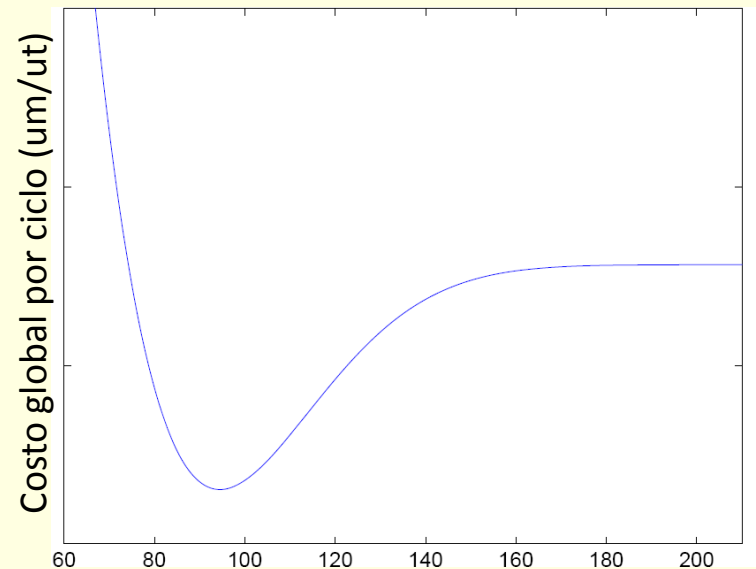
Modelo de reemplazos

■ Supuestos

- Componente falla según Weibull: $\beta=3$ y $\eta=90$ [ut]
- Reemplazos correctivos: $C_c=1,5$ [um] y $T_c=1,0$ [ut]
- Reemplazos preventivos: $C_p=1,0$ [um] y $T_p=0,3$ [ut]
- Horizonte infinito sin valor del dinero en el tiempo

■ Problema de optimización

- Definir programa de reemplazos
- Minimizar costo global por ciclo



Definiciones (British Standards)

- Maintainability: The ability of an item, under stated conditions of use, to be retained in, or restored to, a state in which it can perform its required functions, when maintenance is performed under stated conditions and using prescribed procedures and resources (BS4778)
- Availability: The ability of an item (under combined aspects of its reliability and maintainability) to perform its required function at a stated instant of time or over a stated period of time (BS4778)

Reparaciones y mantenibilidad

- $m(t)$ = Función de densidad probabilística para el tiempo que toma llevar a cabo una intervención de mantenimiento (una reparación en general)
- $M(t)$ = Probabilidad de que una intervención de mantenimiento demore menos de t unidades de tiempo en llevarse a cabo (mantenibilidad)
- MTTR = Tiempo medio para reparar (mean time to repair)

Factores asociados a mantenibilidad

■ Criterios de diseño

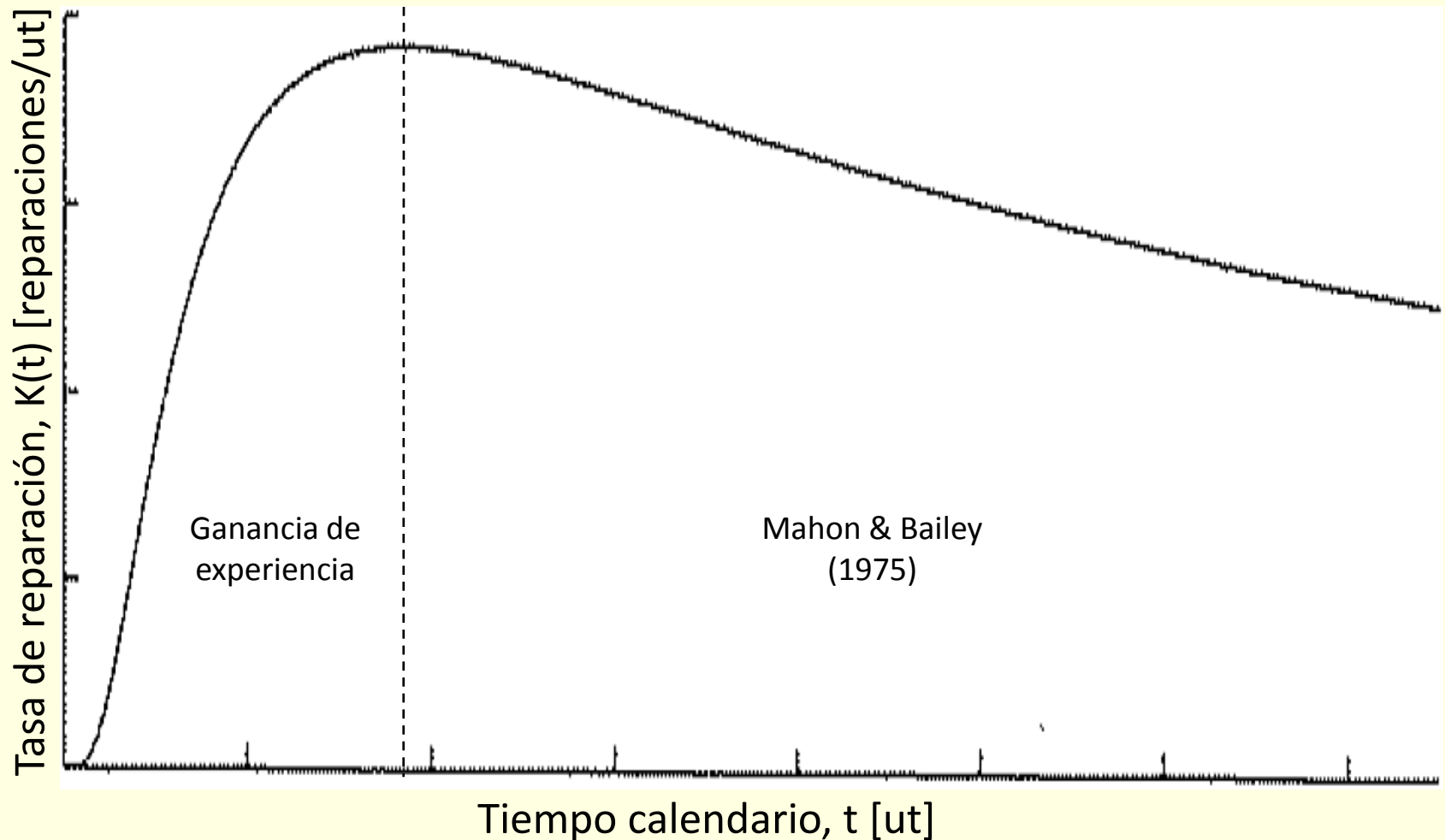
- Accesibilidad
- Desmontabilidad
- Intercambiabilidad

■ Tiempos de respuesta

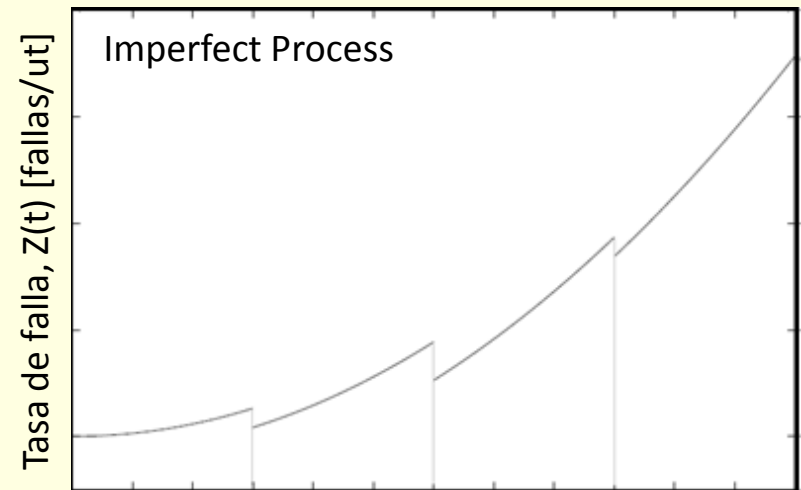
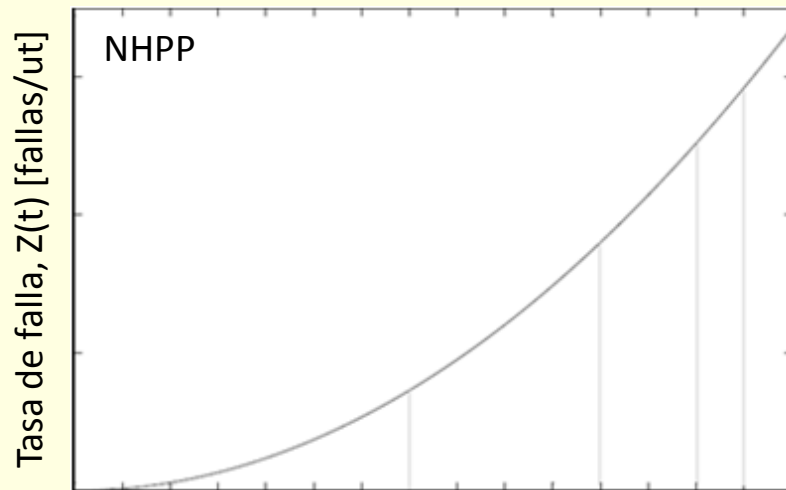
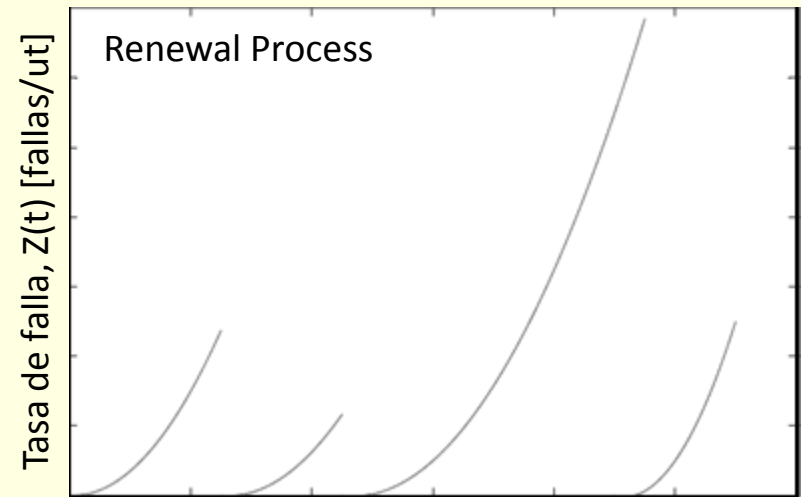
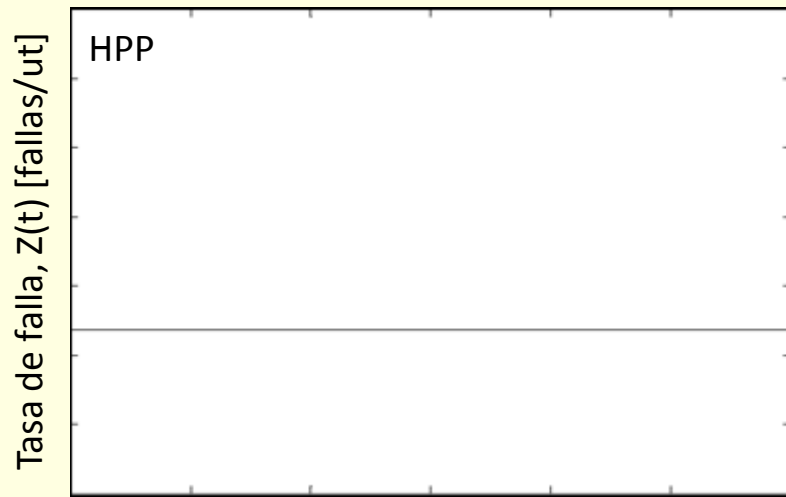
- Diagnóstico
- Intervención misma
- Logística de materiales

■ Capacidad de recursos

Tasa de reparación (repair rate)



Modelos para sistemas reparables



Calidad del mantenimiento

- Tasa de falla post mantenimiento y factor de mejora

$$\lambda_k(t) = p\lambda_{k-1}(t - T_s) + (1 - p)\lambda_{k-1}(t)$$

- Mantenimiento mínimo

$$\lambda_k(t) = \lambda_{k-1}(t)$$

- Mantenimiento perfecto

$$\lambda_k(t) = \lambda_{k-1}(t - T)$$

- Cantidad de fallas

$$\hat{H}(nT) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} p^{n-i} q^{i-1} H(iT)$$

$$H(t) = \int_0^t \lambda(x) dx$$

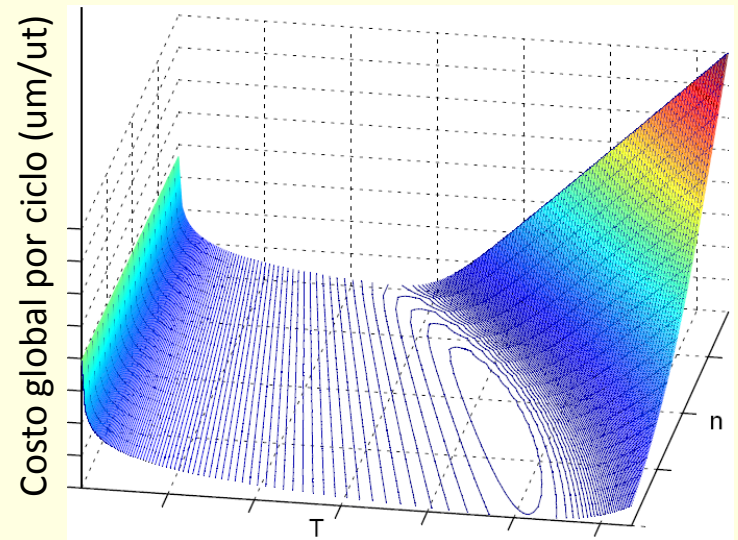
Modelo de overhauls

■ Supuestos

- Actividades de overhaul/reempazo fuera de turno
- Se realizan overhauls preventivos a costo C_o [um/int]
- El equipo es finalmente reemplazado a costo C_r [um/int]
- Intervenciones correctivas son mínimas a costo C_m [um/int]

■ Problema de optimización

- Definir programa de overhauls
- Minimizar costo global por ciclo



Ejemplo: distribución de Weibull

- Tasa de falla y cantidad de fallas

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}, \beta \geq 1$$

$$\hat{H}(nT) = \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} p^{n-i} (1-p)^{i-1} i^{\beta}$$

- Función objetivo: costo global por ciclo

$$c_g(n, T) = \frac{c_r + c_o(n-1) + c_m \left(\frac{T}{\eta} \right)^{\beta} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} p^{n-i} (1-p)^{i-1} i^{\beta}}{nT}$$

Solución: 2 problemas desacoplados

- Determinar n^* tal que $Q(n^*)$ sea mínimo

$$Q(n) = \left((c_r/c_o - 1 + n)^{\beta-1} \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} p^{n-i} (1-p)^{i-1} i^{\beta} \right) / n^{\beta}$$

- Determinar tiempo óptimo entre overhauls

$$T^* = \sqrt[\beta]{ \frac{c_r + (n^* - 1) c_o}{(\beta - 1) c_m \sum_{i=0}^{n^*} \binom{n^*}{i} p^{n^*-i} (1-p)^{i-1} i^{\beta}} } \eta$$

Disponibilidad (availability)

- $X(t)$ = Variable de estado binaria definiendo el funcionamiento de un sistema a las t unidades de tiempo
 - $X=1$, si el sistema funciona
 - $X=0$, si el sistema NO funciona
- $A(t)$ = Probabilidad de que un sistema esté funcionando a las t unidades de tiempo
- A = Disponibilidad promedio

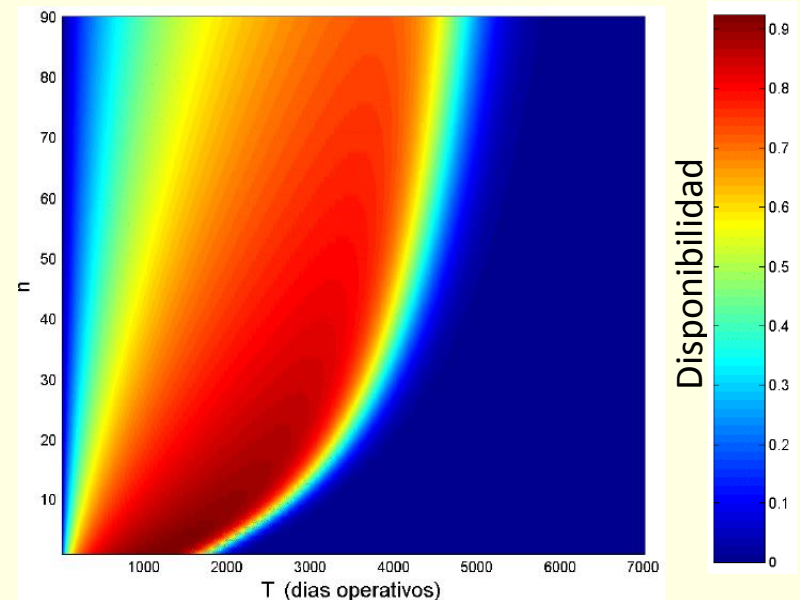
Sectores defensa y servicio

■ Supuestos

- Los overhauls demoran $T_o = 14$ [ut]
- Los reemplazos demoran $T_r = 90$ [ut]
- Las reparaciones demoran $T_m = 2$ [ut]
- Factor de mejora $p=0,7$ con $\lambda(t)=e^{-15+0,01t}$

■ Problema de optimización

- Definir programa de overhauls
- Maximizar disponibilidad



Fin

Preguntas ?

ME57A - Mantención de Maquinaria

Canek Jackson De Castro

cjackson@ing.uchile.cl

21 Sep - 29 Oct 2009