

La Confiabilidad



La Confiabilidad de un Producto Electrónico

Según la Norma ISO 8402

Calidad

La totalidad de las características de una entidad que le confieren la aptitud para satisfacer las necesidades establecidas e implícitas.

(Entidad : Producto)

(Necesidades : Especificaciones)

La Confiabilidad de un Producto Electrónico

Calidad

Condiciones ambientales
Características operativas y funcionales
Características estandarizadas
Requerimientos de compatibilidad electromagnética
Aprobaciones de seguridad
Tiempo operativo o ciclo de trabajo
Mantenimiento
Despacho al mercad
Tamaño y forma
Peso y modo de fijación
Apariencia y terminación
Normas o regulaciones
Aspectos ergonómicos
Confiabilidad → MTBF ?
Condiciones de almacenamiento
Seguridad
Aspectos legales
Instalación
Documentación
Disposición del equipo

↓
Calidad en el Tiempo

La Confiabilidad de un Producto Electrónico

“La confiabilidad de un dispositivo es la probabilidad de que el mismo cumpla sus requerimientos funcionales, durante el tiempo previsto y en las condiciones operativas especificadas” (No Falla)

Probabilidad; tiempo y ambiente de trabajo.

Falla: Es el fin de la aptitud de un dispositivo para cumplir con sus requerimientos funcionales.

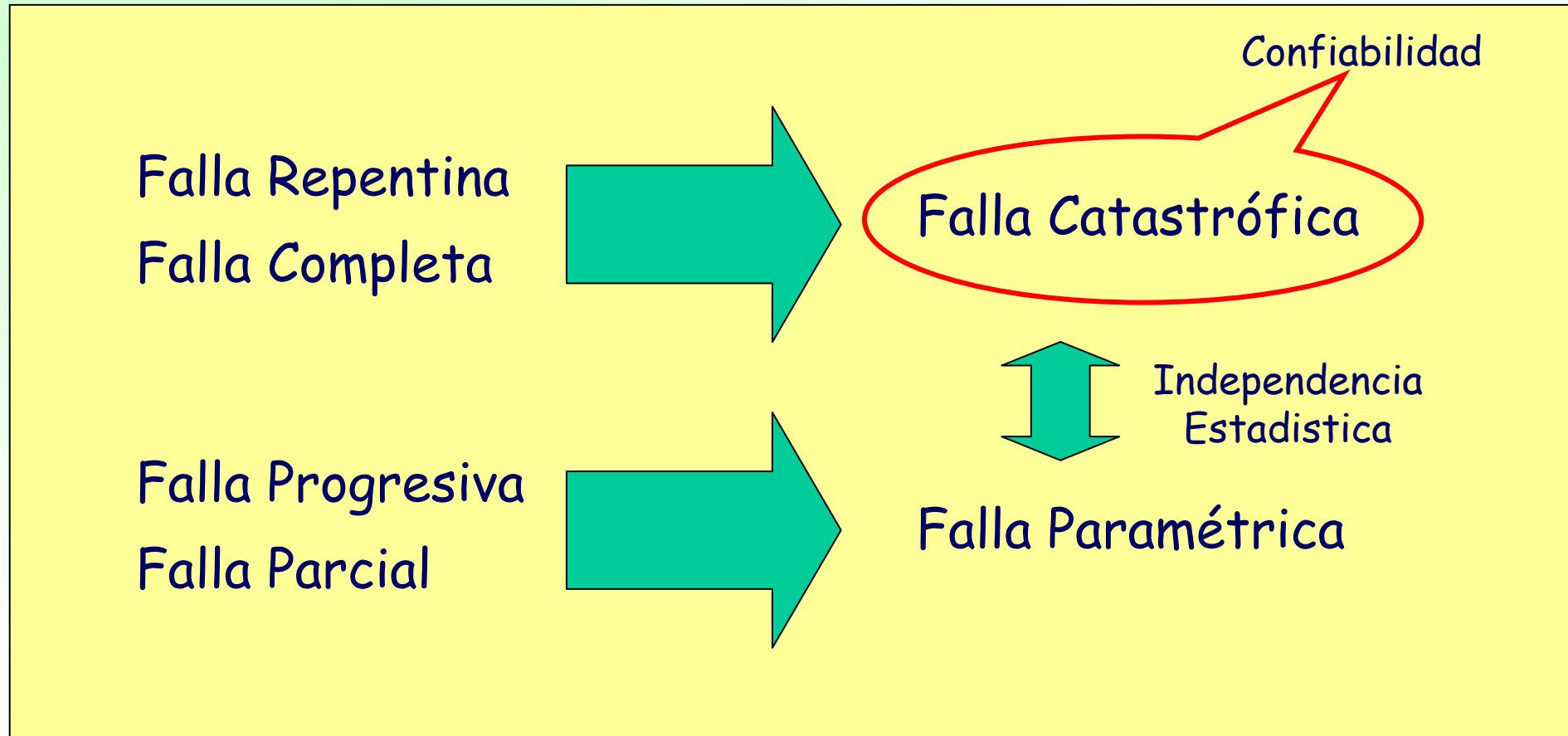
Definiciones Asociadas a Fallas

- **Falla repentina:** Falla de un dispositivo que no puede ser estimada a través de un examen anterior de las características del mismo.
- **Falla progresiva:** Falla de un dispositivo que puede ser estimada a través de un examen anterior de las características del mismo.

Definiciones Asociadas a Fallas

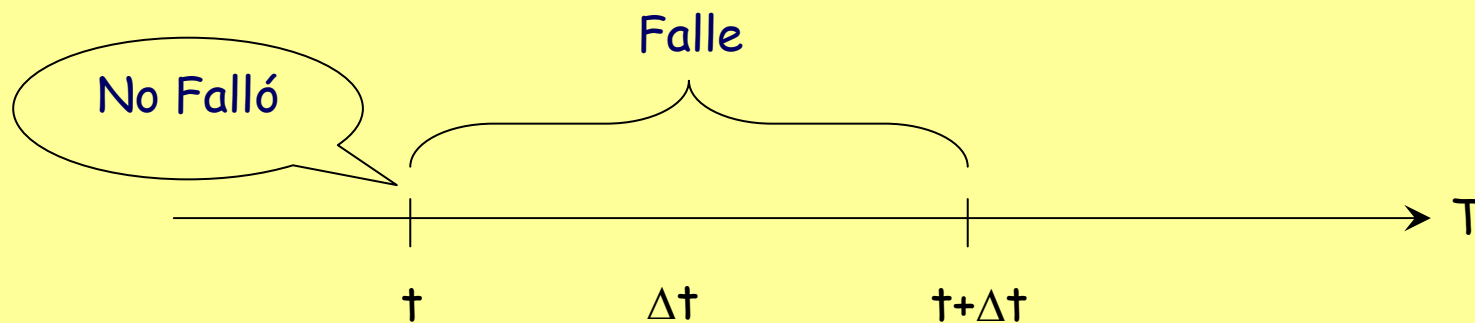
- **Falla parcial:** Falla resultante del cambio de una o más características o de los límites especificados para esas características en un dispositivo, sin que esto signifique la desaparición completa de sus funciones específicas.
- **Falla completa:** Falla resultante del cambio de una o más características o de los límites especificados para esas características en un dispositivo, implicando esto una desaparición completa de sus funciones específicas.

Definiciones Asociadas a Fallas



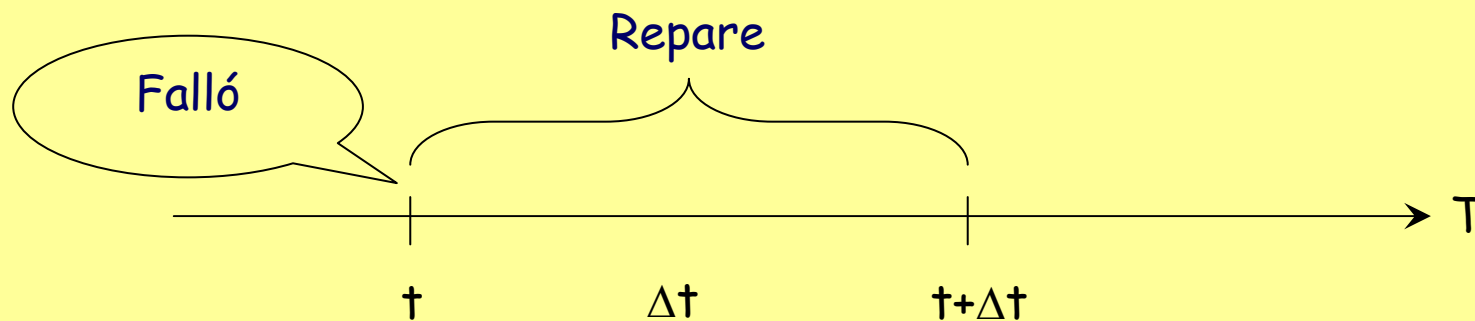
Definiciones Asociadas a Fallas

- **Tasa de fallas:** Es la relación entre la probabilidad de que un dispositivo falle en un intervalo de tiempo, dado que no ha fallado hasta el comienzo del mismo y ese intervalo de tiempo.



Definiciones Asociadas a Fallas

- **Tasa de reparación:** Es la relación entre la probabilidad de que un dispositivo sea reparado en un intervalo de tiempo, dado que ha fallado al comienzo del mismo y ese intervalo de tiempo.



Costos Asociados a una Falla

- Costo del mantenimiento de un stock de materiales para que el producto pueda cumplir su misión operativa con una baja probabilidad de fallas.
- Costo del personal de mantenimiento numeroso y experimentado.
- Costo de partes de repuesto debido a fallas iniciales y/o secundarias.
- Costo de empaque, remito y transporte de partes de repuesto.
- Costo de equipos para realizar el mantenimiento.
- Costo de capital inmovilizado para la creación y mantenimiento de stocks de partes de repuesto.
- Costo de indisponibilidad de equipos y/o stocks de planta debido a retrabajos.
- Costo de vidas humanas en distintas aplicaciones electrónicas (Seguridad)

Aplicaciones Electrónicas en Seguridad

- **Infraestructura:** Servicios de Emergencia - Generación Eléctrica - Alarmas Varias Telecomunicaciones - Apertura Segura de Circuitos Varios.
- **Medicina:** Bombas de Infusión - Sistemas de Ventilación Pulmonar - Sistemas de Circulación Sanguínea Extracorpórea - Desfibriladores - Teleterapia - Cirugía Robótica Asistida.
- **Nuclear:** Sistemas de Control, Supervisión y Seguridad de Reactores Nucleares.
- **Transporte Público:** Sistemas de Control y Señalización Luminosa.
- **Transporte Privado:** Sistemas de Airbags - Sistemas de Frenos - Cinturones de Seguridad.
- **Espacial:** Sistemas Satelitales - Vehículos Espaciales Tripulados - Misiles.
- **Aviación:** Sistemas de Control de Tráfico Aéreo - Aviónica - Radionavegación - Sistemas de Soporte de Vida de Tripulación - Planeamiento de Aeronavegación.
- **Recreación:** Juegos de Parques de Diversiones - Paracaidismo - Buceo.

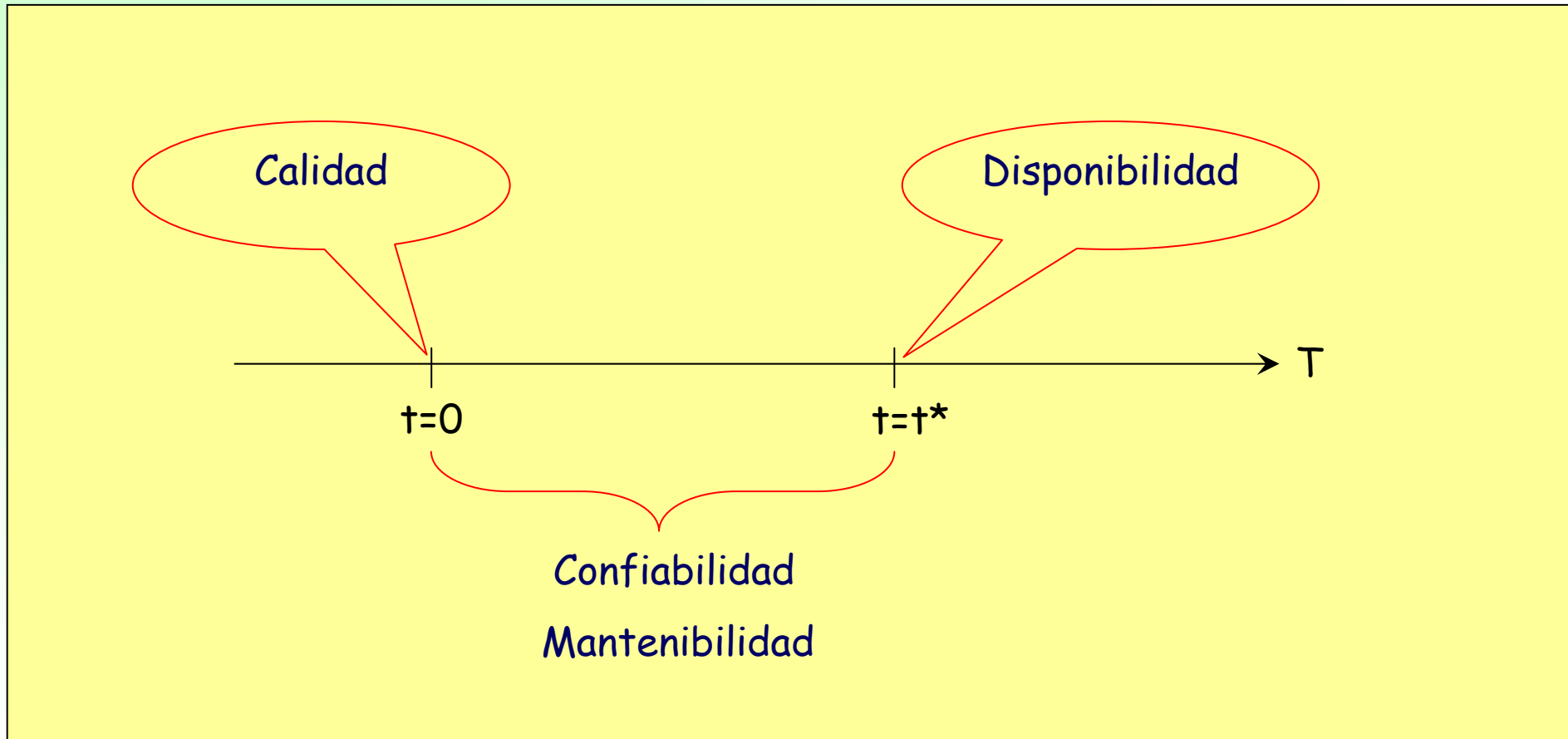
Definiciones Asociadas a Confiabilidad

- **Confiabilidad estimada:** Es la confiabilidad de un dispositivo medida a través de ensayos especificados, mediante un programa definido.
- **Confiabilidad predictiva:** Es la confiabilidad calculada sobre la base de un modelo matemático definido a partir de datos de confiabilidad estimada o predictiva de sus componentes, teniendo en cuenta las condiciones operativas de los mismos.

Definiciones Asociadas a Confiabilidad

- **Disponibilidad:** Característica de un dispositivo expresada como la probabilidad de que el mismo cumpla con sus requerimientos funcionales en un instante determinado de tiempo y bajo condiciones operativas dadas.
- **Mantenibilidad:** Característica de un dispositivo expresada como la probabilidad de que el mismo sea reparado en un tiempo dado.

Definiciones Asociadas a Confiabilidad



Definiciones Asociadas a Tiempos

- **Intervalo de tiempo entre fallas:** Duración del funcionamiento de un dispositivo reparable entre dos fallas consecutivas.
- **Tiempo medio entre fallas:** Valor medio de la duración del funcionamiento de un dispositivo reparable entre fallas consecutivas y para un periodo definido de la vida del mismo. (Conocido generalmente como MTBF, del inglés mean time between failures).

Definiciones Asociadas a Tiempos

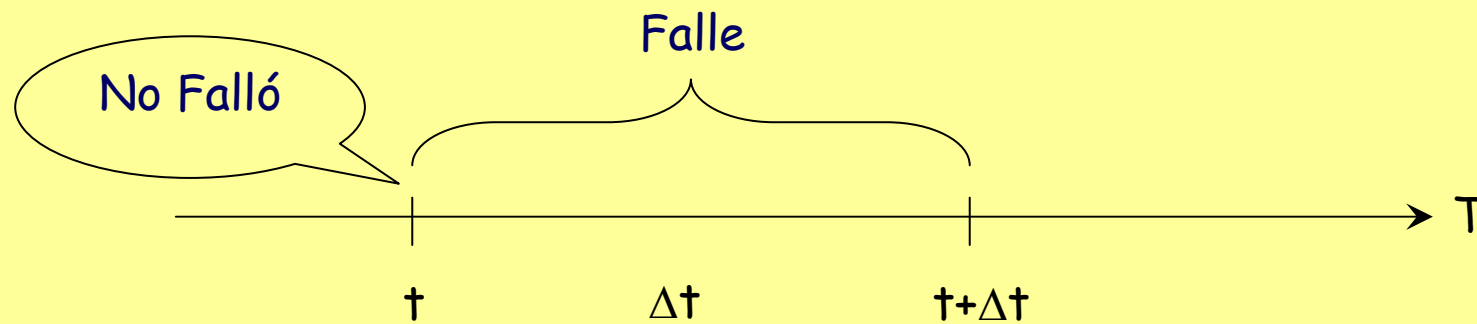
- **Tiempo de vida:** Duración del funcionamiento de un dispositivo no reparable hasta la falla.
- **Tiempo medio hasta la falla:** Valor medio de la duración del funcionamiento de un dispositivo no reparable hasta la falla. (Conocido generalmente como MTTF, del inglés mean time to failure).

Definiciones Asociadas a Tiempos

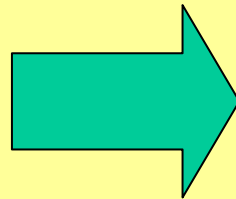
- **Tiempo de reparación:** Duración de la reparación de un dispositivo.
- **Tiempo medio de reparación:** Valor medio de la duración de la reparación de un dispositivo. (Conocido generalmente como *MTTR*, del inglés *mean time to repair*).

Caracterización de las Fallas Catastróficas

¿ Probabilidad de que un dispositivo falle en un intervalo Δt dado que vivió hasta t ?



$T = V.A.$ (tiempo hasta la falla = tiempo de vida del dispositivo)



$$\Pr \{ [t < T < t + \Delta t] / T > t \} = h(t) \cdot \Delta t$$

Caracterización de las Fallas Catastróficas

La probabilidad de que un dispositivo falle en un intervalo Δt dado que vivió hasta t es proporcional a la duración de ese intervalo Δt y esa constante de proporcionalidad $h(t)$ depende del punto t a partir del cual se toma el intervalo.

$$C(t) = \exp. - \int_0^t h(t).dt$$

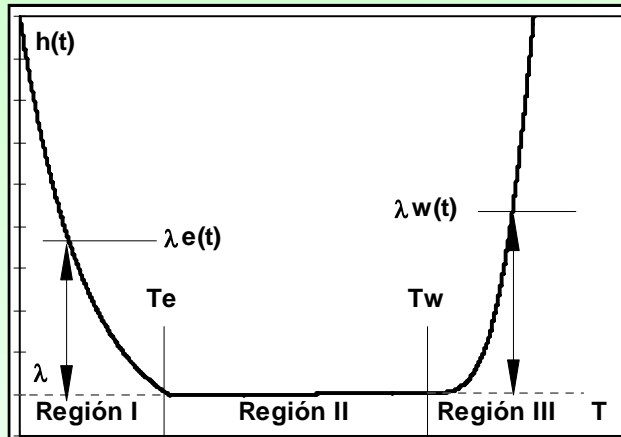
$$P(T \leq t) = F(t)$$

$$P(T > t) = C(t)$$

$$C(t) = 1 - F(t)$$

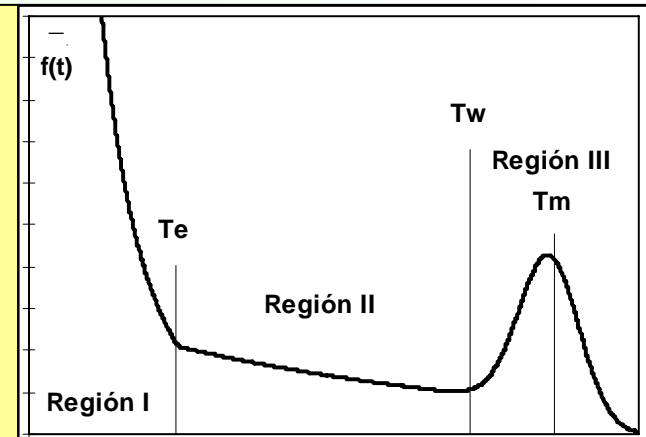
$$F(t) = \int_{-\infty}^t f(t).dt$$

Caracterización de las Fallas Catastróficas



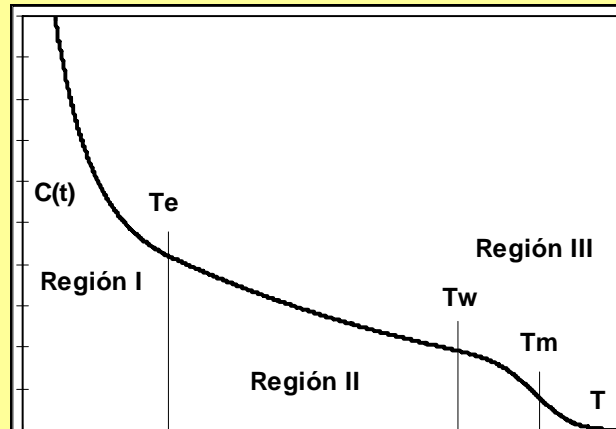
Región 1

Región de *mortalidad infantil* o de *fallas tempranas*, donde es difícil determinar la función de distribución.



Región 2

Región correspondiente a la *zona de tasas de fallas constante* λ , a la cual es aplicable la distribución exponencial de fallas (vida útil).

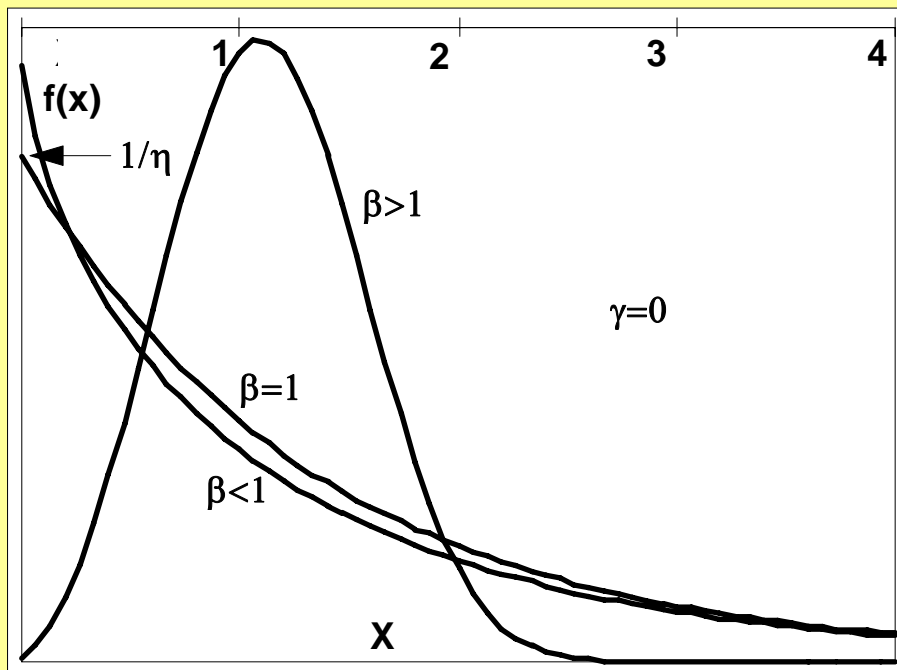


Región 3

Región que corresponde a la *zona de desgaste* (wear - out) o *fuera de uso*. Aquí, las distribuciones normal y lognormal, proveen un modelo adecuado.

Caracterización de las Fallas Catastróficas

$$W. \text{ Weibull} \Rightarrow f(x, \gamma, \eta, \beta) = (\beta/\eta) \cdot [(x-\gamma)/\eta]^{\beta-1} \cdot \exp\{-[(x-\gamma)/\eta]^\beta\}; \quad x \geq \gamma$$



$\gamma \geq 0$; parámetro de posición
 $\eta > 0$; parámetro de escala
 $\beta > 0$; parámetro de forma
 para $X=T$

Región 1

$$\beta < 1$$

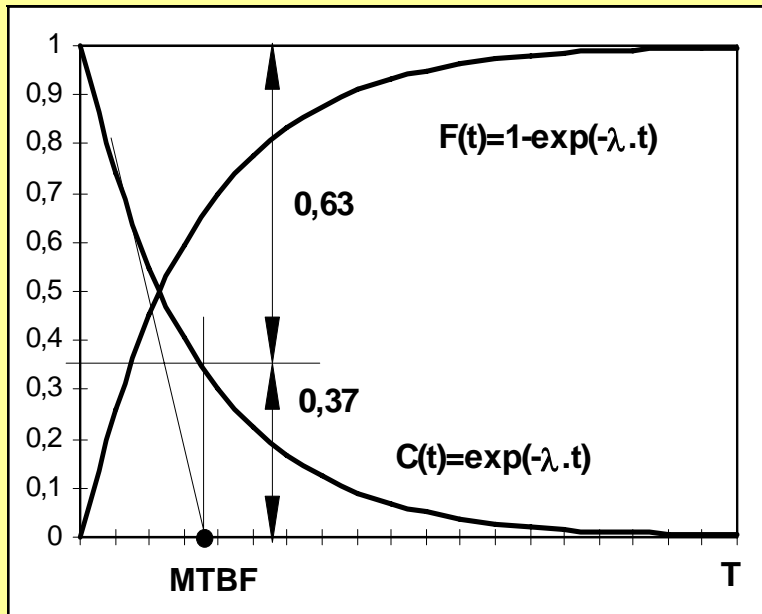
Región 2

$$\beta = 1$$

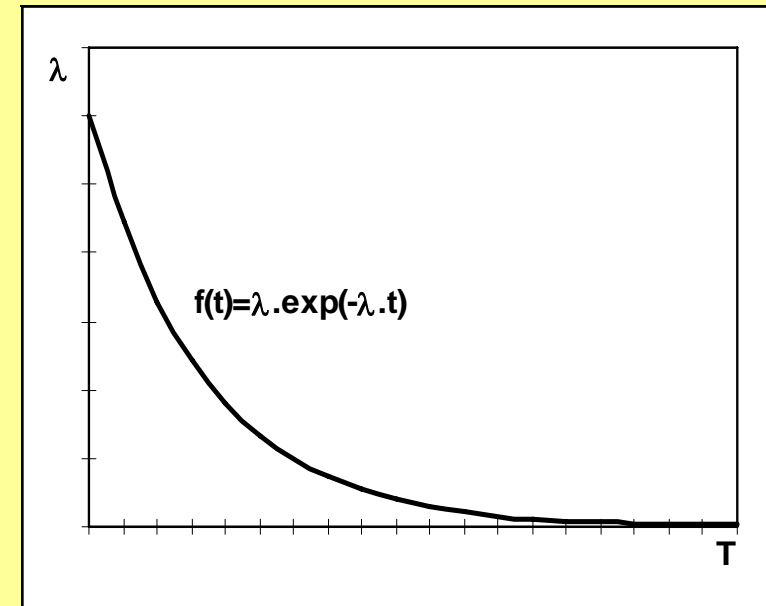
Región 3

$$\beta > 1$$

Caracterización de las Fallas Catastróficas



Región 2



$$MTBF = \sum t_i / n \quad MTBF = \int_0^{\infty} C(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} \exp(-\lambda \cdot t) dt = 1/\lambda$$

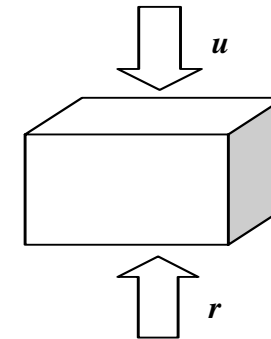
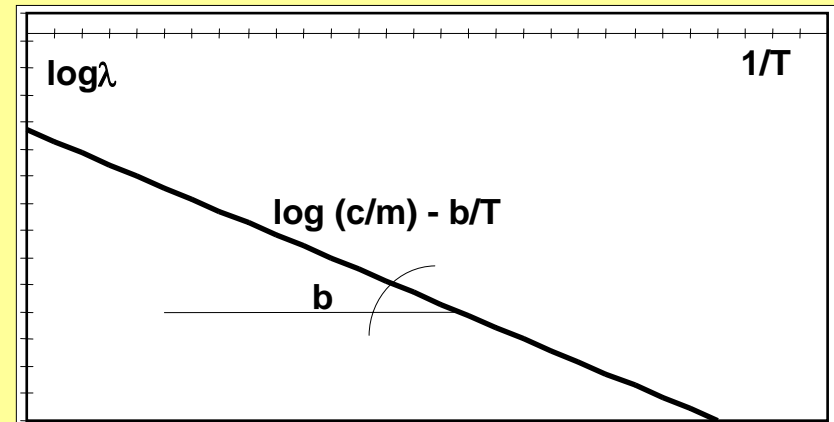
Caracterización de la Tasa de Fallas

Modelo de Arrhenius

$$\lambda_2/\lambda_1 = \exp.[-b.(1/T_2-1/T_1)]$$

Modelo Esfuerzo - Resistencia

$$\lambda_1/\lambda_2 = (u_2 / u_1)^\beta$$



Definiciones Asociadas a Ensayos

- **Ensayos completos:** Ensayos en el curso de los cuales se produce la falla de todos los dispositivos bajo prueba.
- **Ensayos truncados:** Ensayos en el curso de los cuales se produce la falla de solamente algunos de los dispositivos bajo prueba.
- **Ensayos con reposición:** Ensayos en el curso de los cuales cualquier dispositivo fallado es reemplazado por uno nuevo.

Definiciones Asociadas a Ensayos

- **Ensayos acelerados:** Ensayos en el curso de los cuales los parámetros operativos se encuentran mas allá de los fijados en las especificaciones técnicas del dispositivo.
- **Ensayos escalonados:** Ensayos en el curso de los cuales uno de los parámetros operativos del dispositivo es aplicado en forma escalonada durante períodos de tiempo sucesivos de igual duración en niveles crecientes de un período a otro.

Definiciones Asociadas a Ensayos

- **Ensayos secuenciales o de Homologación:** Ensayos llevado a cabo de tal forma que al final de cada uno se toma la decisión de aceptar, rechazar o continuar con el siguiente, de acuerdo a riesgos prefijados con anterioridad.
- **Ensayos de selección o Screening:** Ensayos destinados a eliminar dispositivos defectuosos o susceptibles de presentar fallas prematuras.

Estimación de la Tasa de Fallas

Estimación Puntual de Máxima Verosimilitud

$\lambda \equiv$ parámetro a estimar.

$t_i \equiv$ tiempos hasta la falla del dispositivo i .

$L \equiv$ función de máxima verosimilitud.

$f(t, \lambda) \equiv$ función de densidad de probabilidad teórica.

$$L(t_1, t_2, \dots, t_n) = \prod_{i=1}^n f(t_i, \lambda)$$

$$\frac{\partial L(t_1, t_2, \dots, t_n)}{\partial \lambda} = 0 \quad \longrightarrow \quad \hat{\lambda}$$

Estimación de la Tasa de Fallas

Estimación por Intervalos de Confianza

$$(2.\lambda) \cdot \sum_{i=1}^r \Delta t_i \equiv \chi^2_{2r}$$

$$\hat{\lambda} = r / t_r$$

Δt_i = tiempos de falla

t_r = tiempo total acumulado

r = # de fallas acumuladas

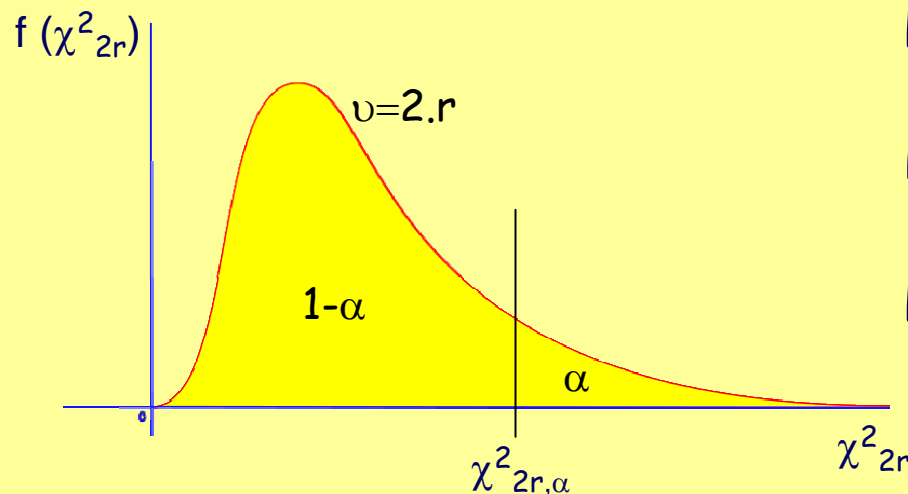
χ^2_n = función Ji cuadrado de n grados de libertad

$$\lambda / \hat{\lambda} \equiv \chi^2_{2r} / 2.r \quad \longrightarrow \quad 2.r.\lambda / \hat{\lambda} \equiv \chi^2_{2r}$$

Estimación de la Tasa de Fallas

Estimación por Intervalos de Confianza

$$\lambda / \hat{\lambda} \equiv \chi^2_{2r} / 2.r \quad \longrightarrow \quad 2.r.\lambda / \hat{\lambda} \equiv \chi^2_{2r}$$



$$\Pr(\chi^2_{2r} \leq \chi^2_{2r,\alpha}) = 1-\alpha$$

$$\Pr(2.r.\lambda / \hat{\lambda} \leq \chi^2_{2r,\alpha}) = 1-\alpha$$

$$\Pr(\lambda \leq \hat{\lambda} \cdot \chi^2_{2r,\alpha} / 2.r) = 1-\alpha$$

Estimación Puntual

Base de Datos de Predicción de Tasa de fallas

- MIL-STD-217-F N1/2 Military Handbook - Parts Stress
- MIL-STD-217 Military Handbook - Parts Count
- Telcordia SR-332
- Bellcore TR-332
- PRISM
- 217 Plus
- RDF 2000
- IEC TR 62380
- NSWC Mechanical
- Chinese 299B - Part Stress
- Chinese 299B - Parts Count
- HRD5

Técnicas de Ajuste y Derating de Tasa de Fallas

Técnicas de Ajuste

- Telcordia Method II: lab. data
- Telcordia Method III: field data
- Device burn-in
- Process grades
- Bayesian
- Predecessor data

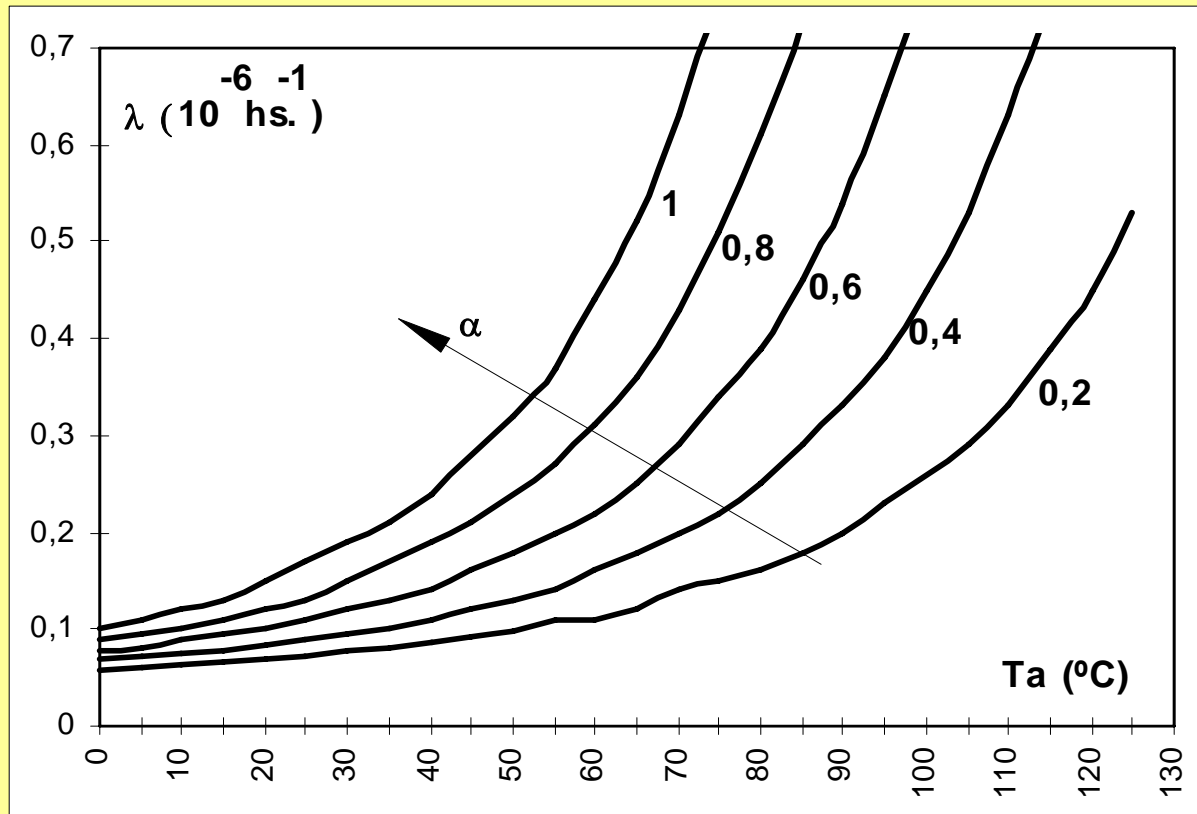
Técnicas de Derating

- AS-4613A
- AS-4613B
- AS-4613C
- MIL-HDBK-1547
- MIL-STD-975M
- TE000-AB-GTP-010

Datos de Tasas de Fallas de Fab. de Componentes

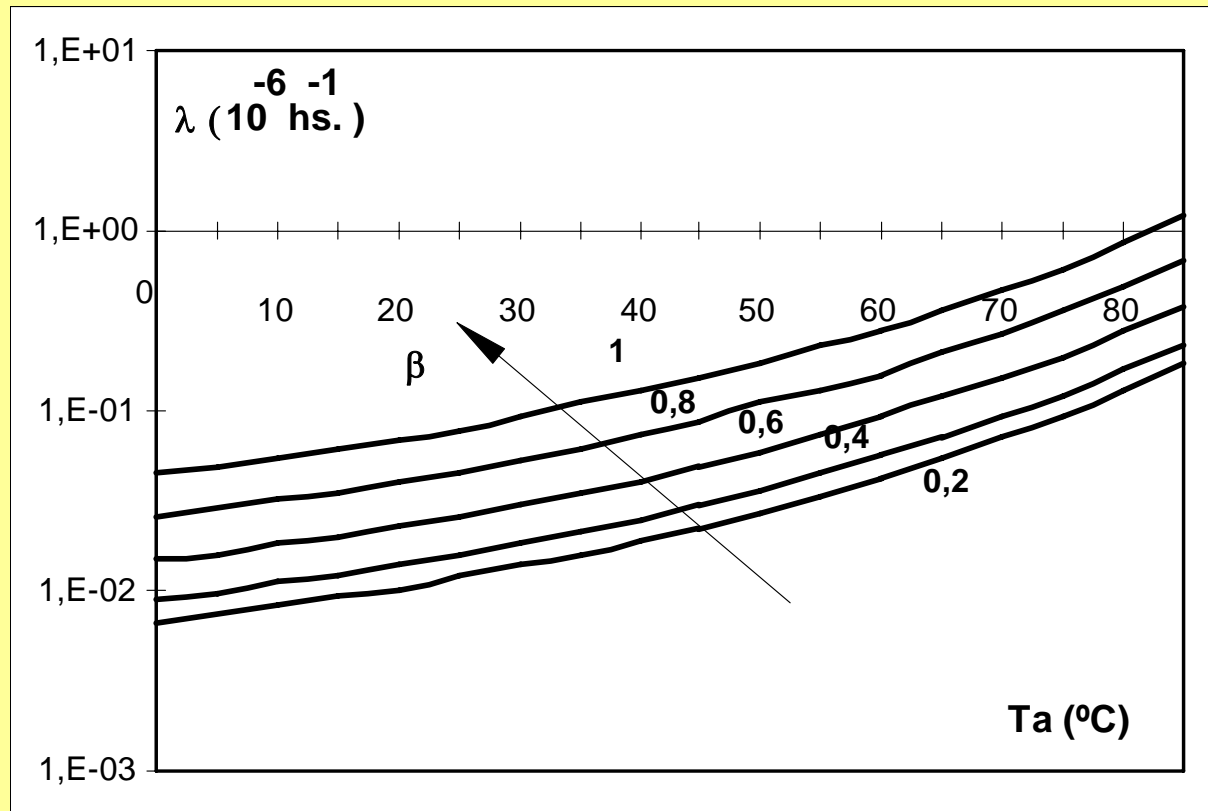
- AMD
- Analog Devices
- AVX
- Cypress
- Dallas Semiconductor
- Fairchild
- Harris Semiconductor
- Hitachi
- Infineon
- Intel
- International Rectifier
- Kemet
- KOA Speer
- Microsemi
- Motorola
- Murata
- National Semiconductor
- Panasonic
- Philips
- ST Microelectronics
- Texas Instruments
- Toshiba
- Vishay
- Xilinx

Tasa de Fallas de Resistores



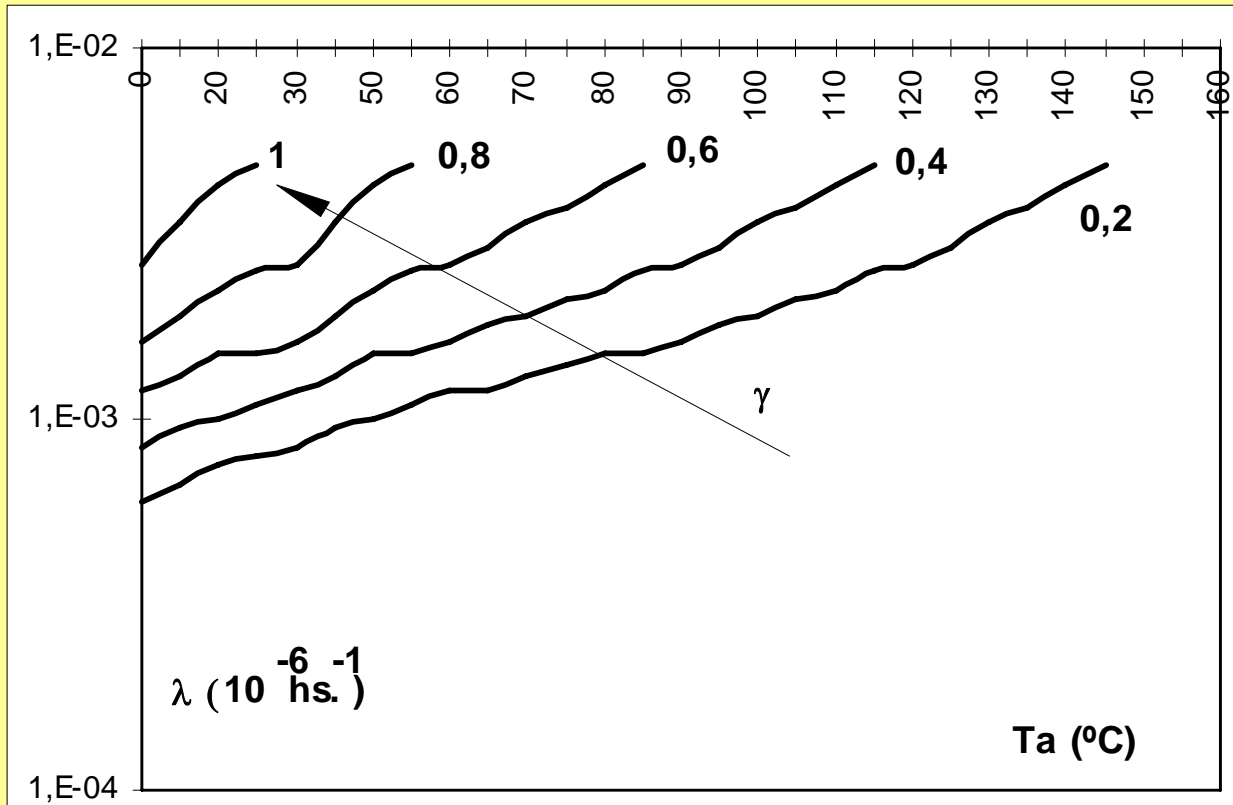
$$\alpha = I_{op} / I_{nom}$$

Tasa de Fallas de Capacitores



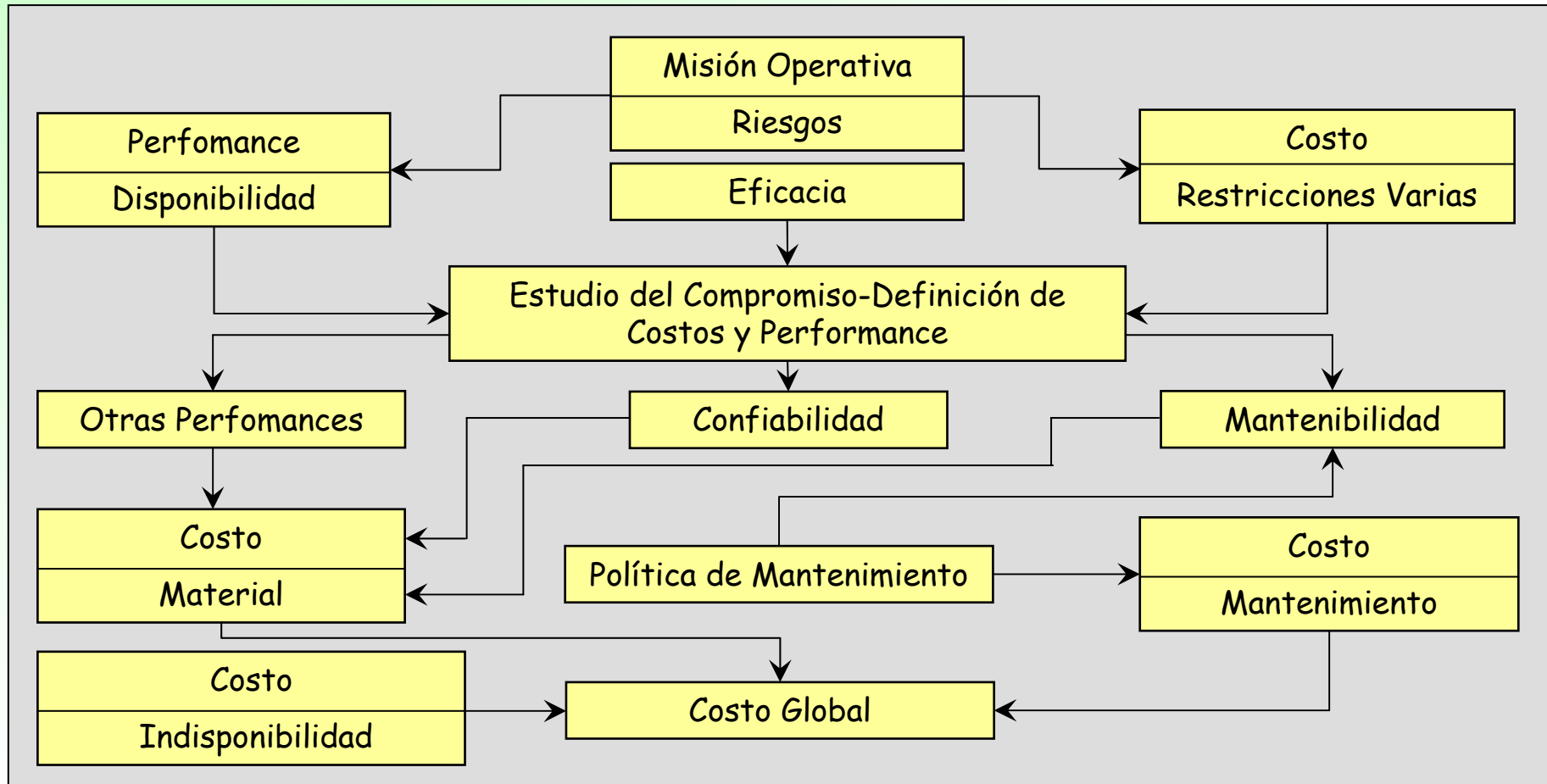
$$\beta = V_{op} / V_{nom}$$

Tasa de Fallas de Semiconductores

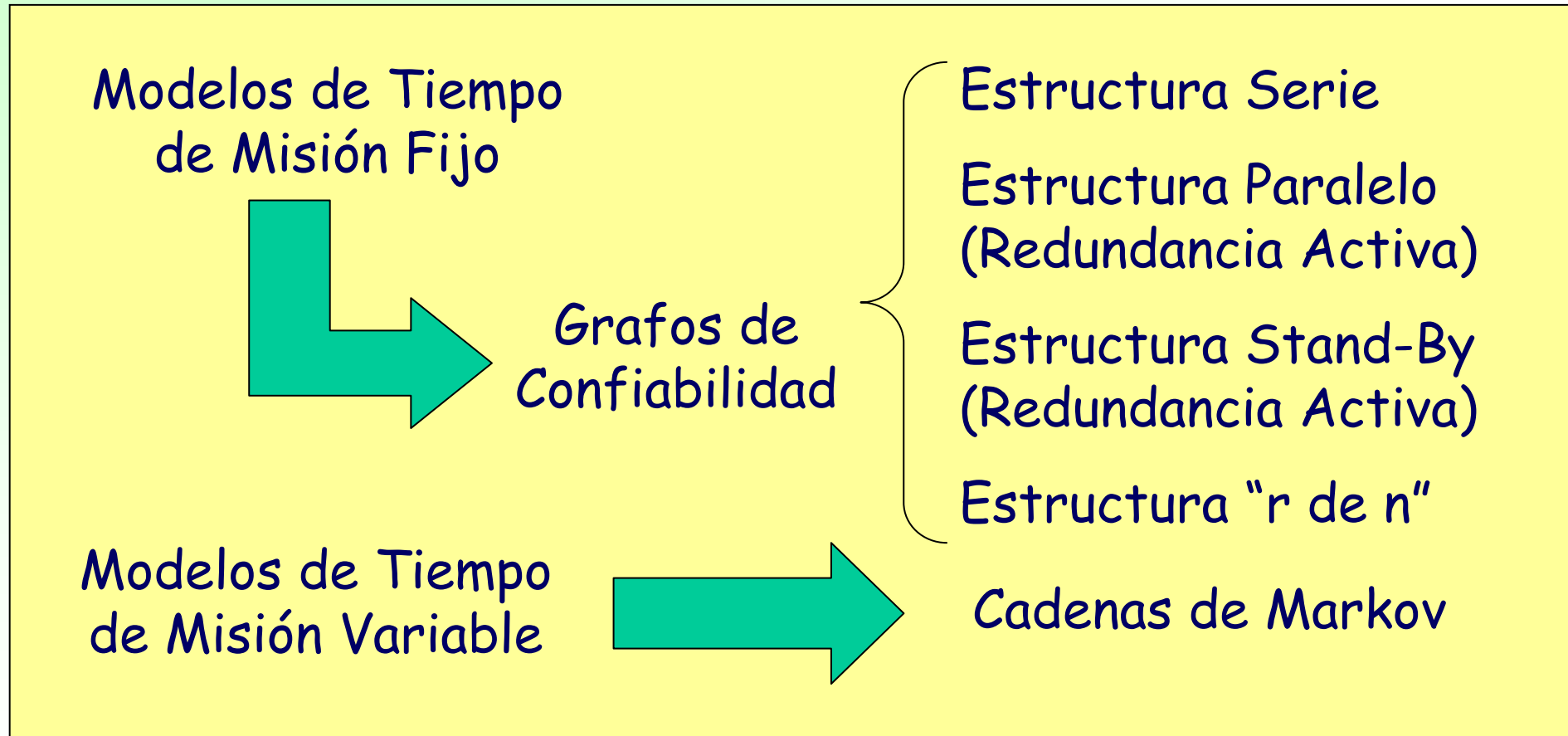


$$\gamma = P_{op}/P_{nom}$$

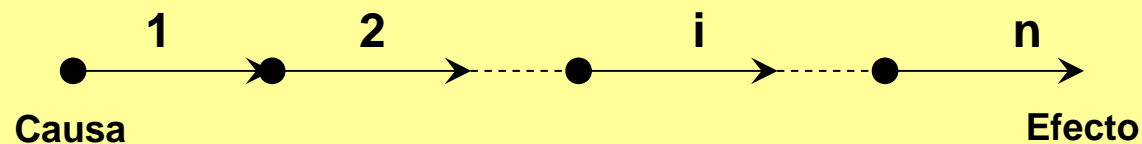
Relación Costo - Performance



Confiabilidad de Equipos y Sistemas Electrónicos



Confiabilidad de Equipos y Sistemas Electrónicos



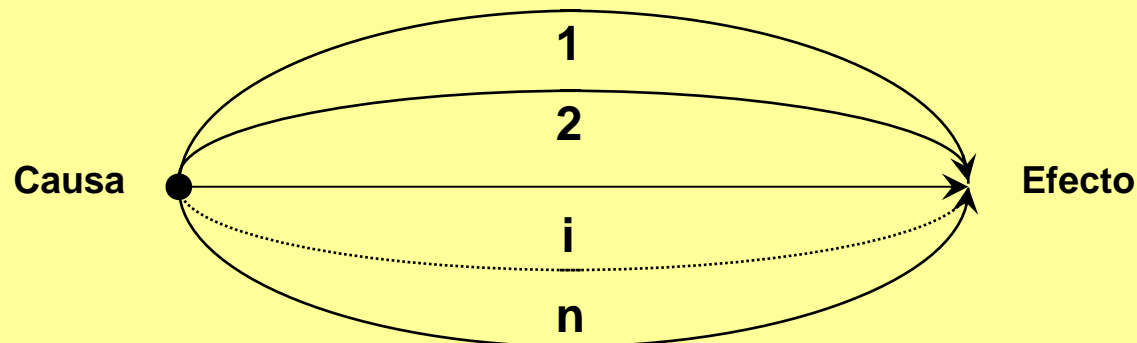
MAS CONSERVATIVO

$$\lambda_S = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_i + \dots + \lambda_n$$

$$C_S = C_{S1} \cdot C_{S2} \dots C_{Si} \dots C_{Sn}$$

$$F_S = 1 - C_S$$

SERIE

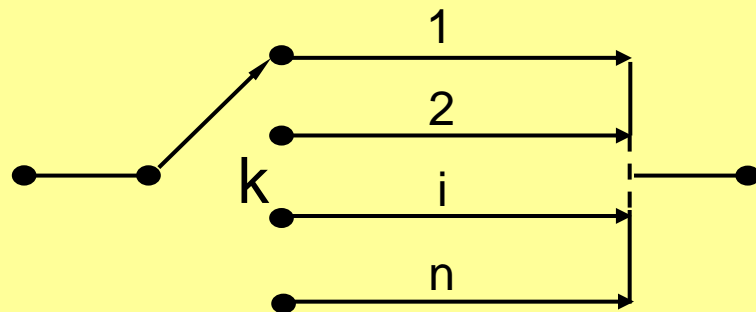


$$F_P = F_{S1} \cdot F_{S2} \dots F_{Si} \dots F_{Sn}$$

$$C_P = 1 - F_P$$

PARALELO

Confiabilidad de Equipos y Sistemas Electrónicos

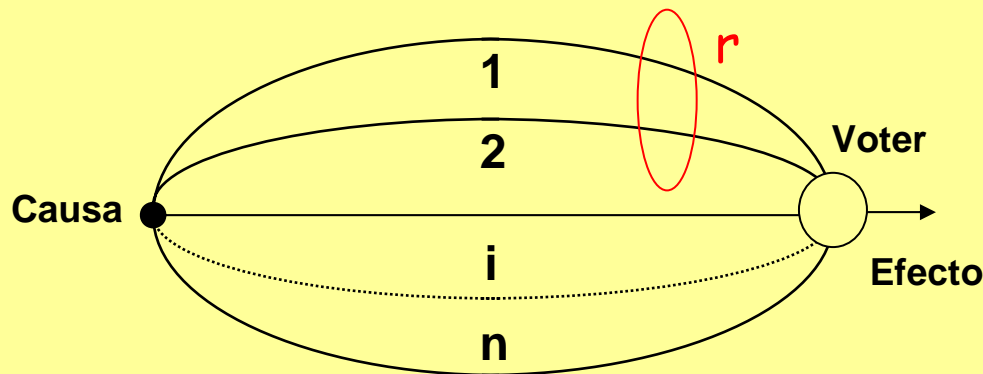


λ = Tasa de Fallas de cada Componente del Sistema y Llave k Perfecta

$$P(S) = \exp(-\lambda t) \cdot \sum_{i=0}^{n-1} (\lambda t)^i / i!$$

STAND-BY

Efecto

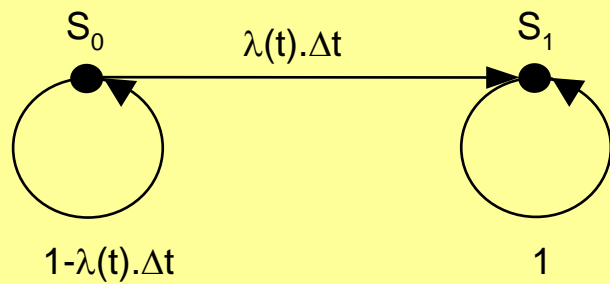


p = Confiabilidad de cada Componente del Sistema y Voter Perfecto

$$P(S) = \sum_{k=r}^n \binom{n}{k} \cdot p^k \cdot (1-p)^{n-k}$$

r de n

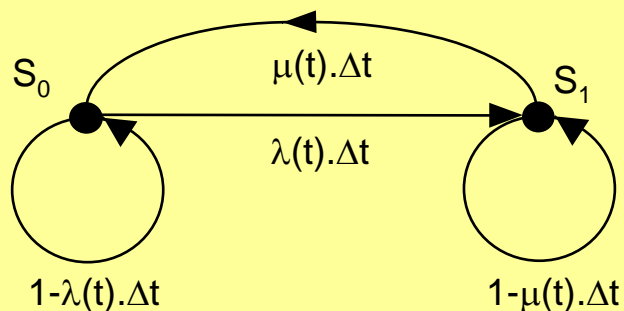
Confiabilidad y Disponibilidad



$$dPs_0(t)/dt + \lambda(t) \cdot Ps_0(t) = 0$$

$$dPs_1(t)/dt - \lambda(t) \cdot Ps_0(t) = 0$$

$$Ps_0(t) = \exp.(-\lambda \cdot t)$$

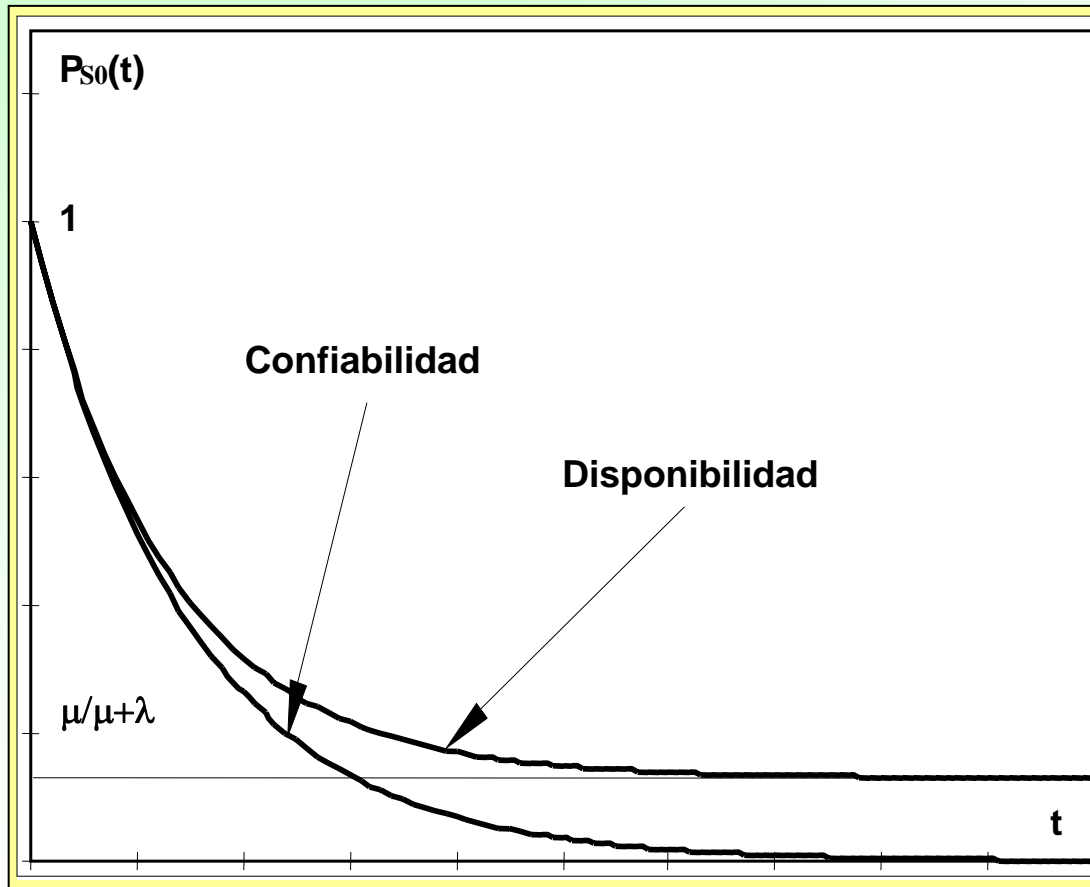


$$dPs_0(t)/dt + \lambda(t) \cdot Ps_0(t) - \mu(t) \cdot Ps_1(t) = 0$$

$$dPs_1(t)/dt + \mu(t) \cdot Ps_1(t) - \lambda(t) \cdot Ps_0(t) = 0$$

$$Ps_0(t) = [\lambda / (\lambda + \mu)] \cdot \exp.[-(\lambda + \mu) \cdot t] + [\mu / (\lambda + \mu)]$$

Confiabilidad y Disponibilidad



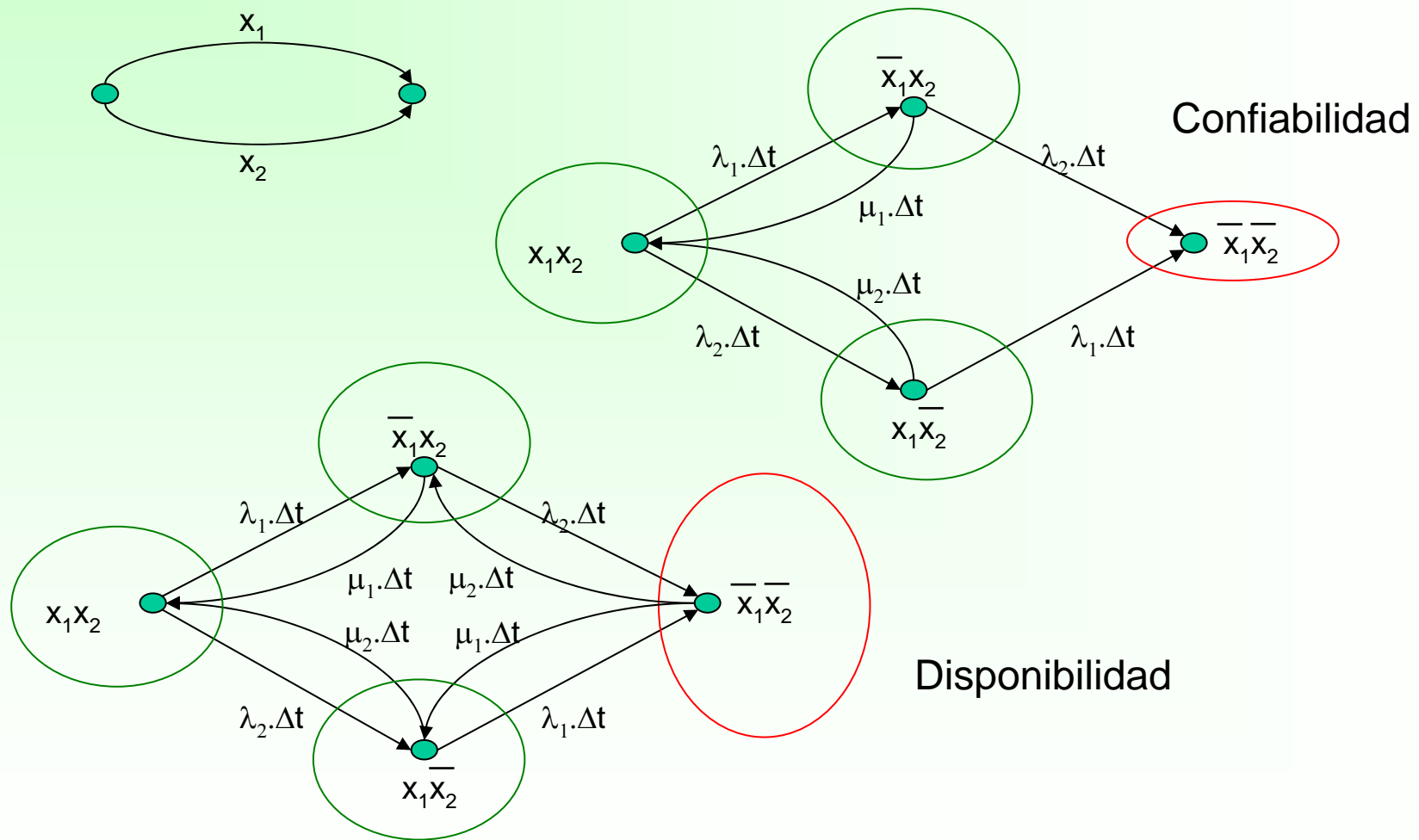
$$A_{ee} = \mu / (\lambda + \mu)$$

$$A_{ee} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

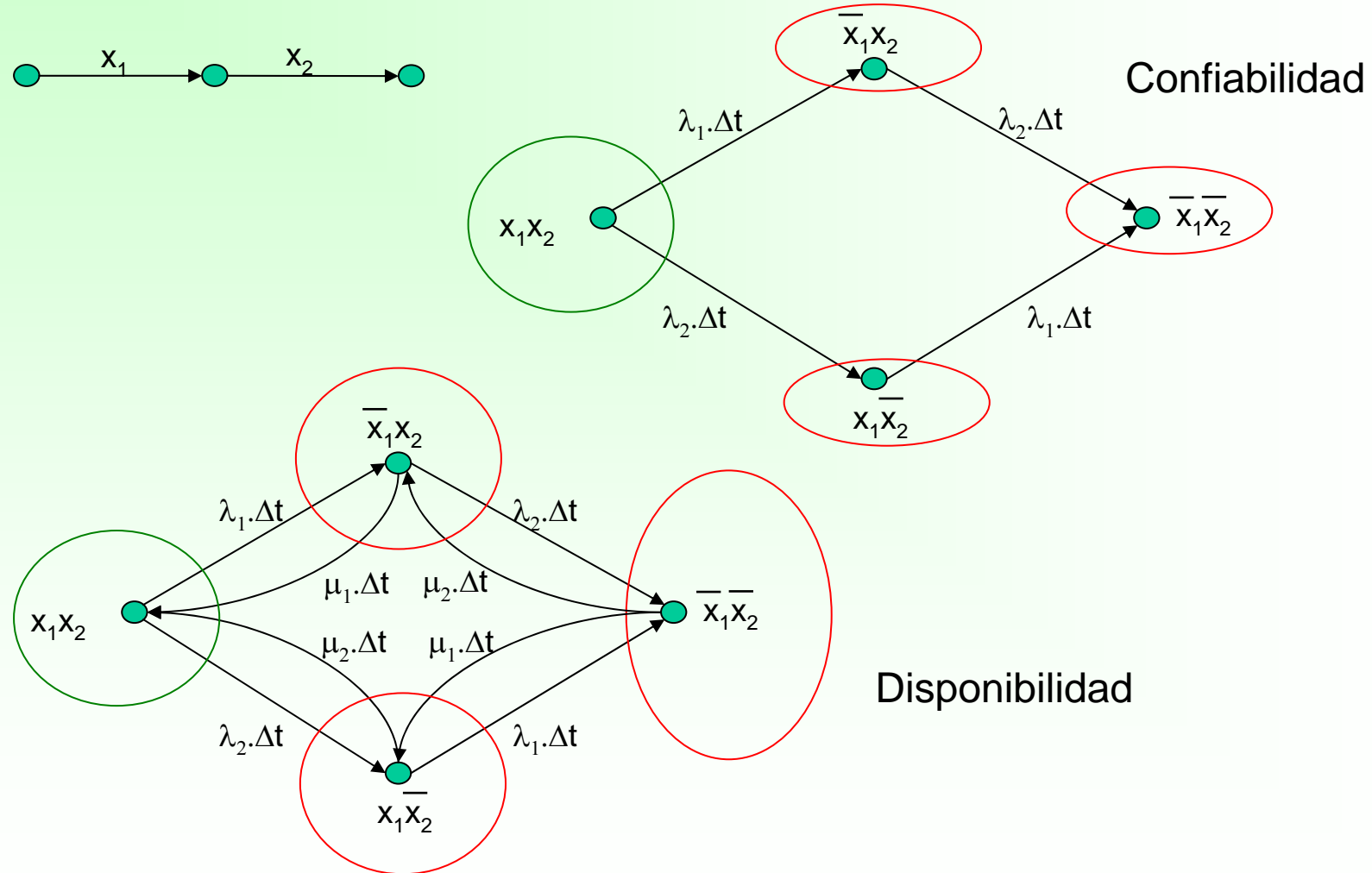
Si $\lambda \ll \mu$:

$$A_{ee} \cong 1 - \lambda / \mu = 1 - \lambda \cdot \text{MTTR}$$

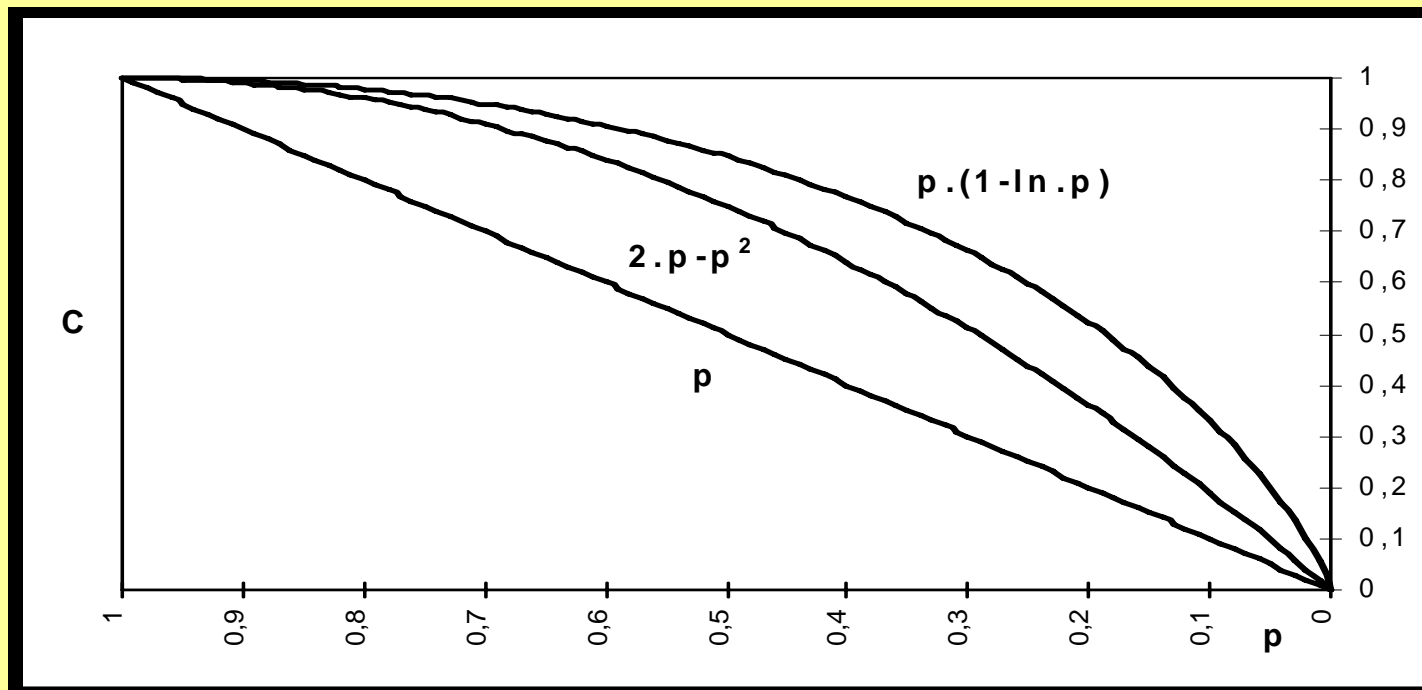
Confiabilidad y Disponibilidad



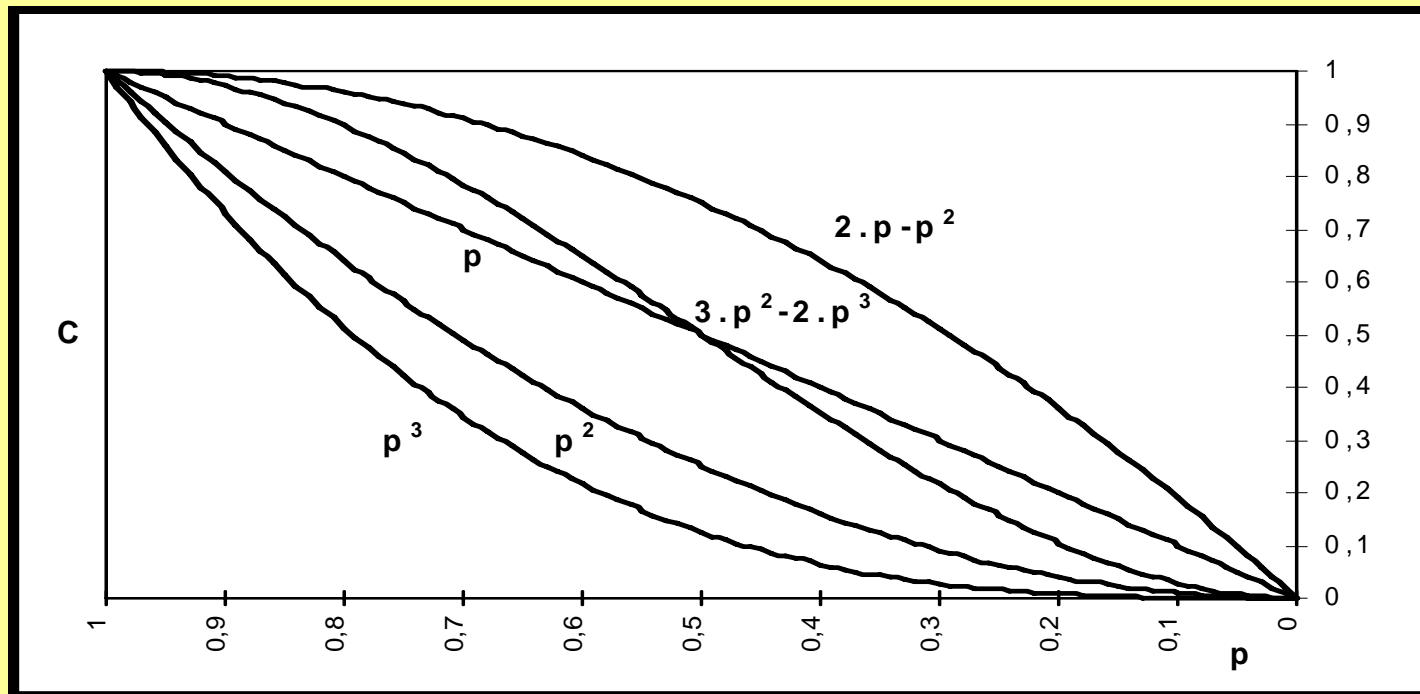
Confiabilidad y Disponibilidad



Confiabilidad y Disponibilidad



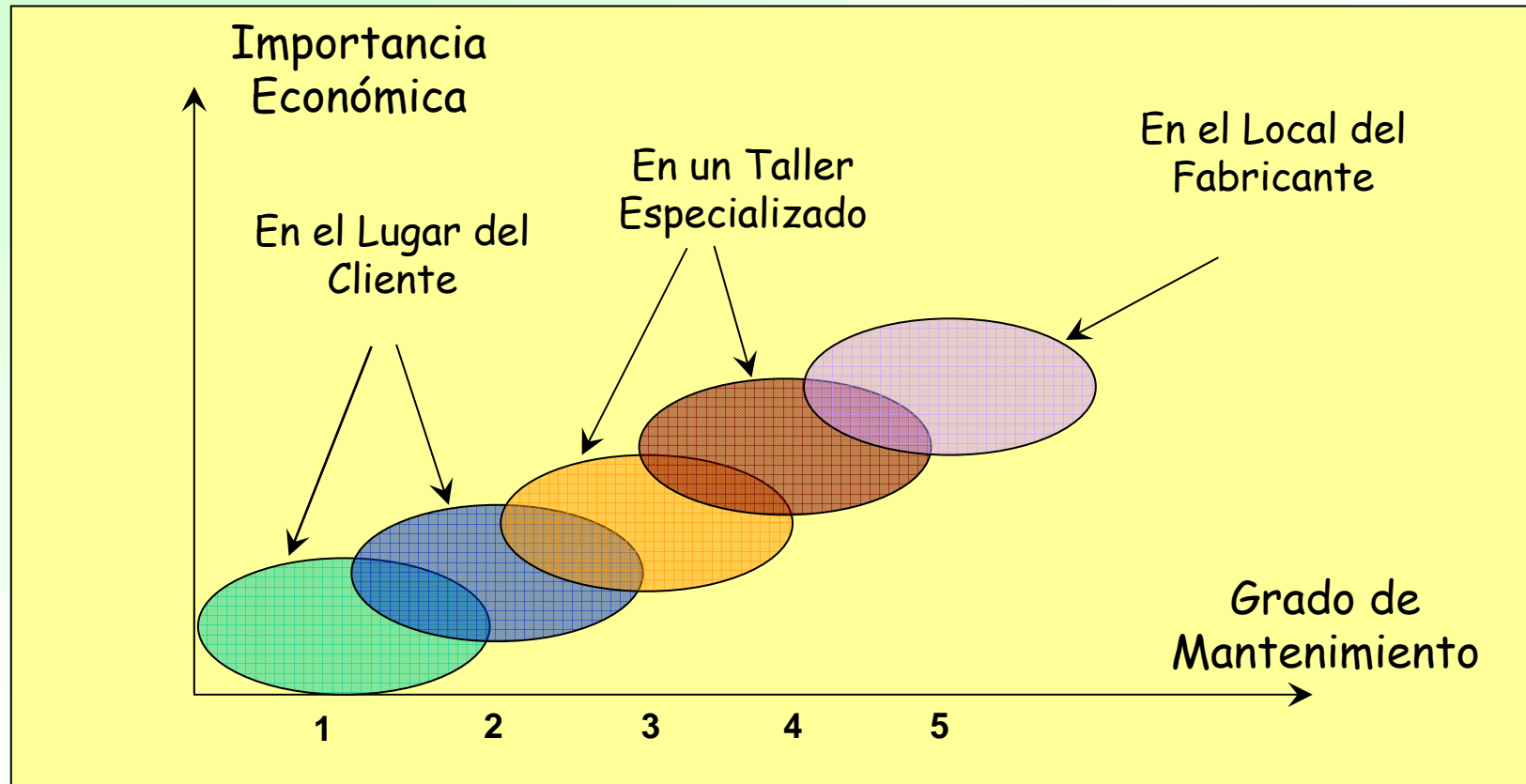
Confiabilidad y Disponibilidad



Confiabilidad y Mantenibilidad

Eventos	Tiempos de Inmovilización	Fases del MC	Optimización	
Falla				
	Toma de conocimiento de la falla	Toma de Conocimiento	Parcialmente Mejorable	Interrupción del servicio del equipo
Toma de conocimiento de la falla				
	Aviso al personal de mantenimiento		No Mejorable	
Aviso al personal de mantenimiento				
	Obtención de herramientas y equipos de medida		Parcialmente Mejorable	
Comienzo de la intervención				
	Localización de la falla	Diagnóstico	Mejorable	MTTR
Localización y acceso				
	Localización e identificación del elemento fallado		Mejorable	
Comienzo de la reparación				
	Desmontaje del elemento fallado	Reparación	Mejorable	
Obtención del elemento de repuesto				
	Reparación y/o reemplazo del elemento fallado		Mejorable	
Fin de la reparación				
	Calibración y puesta en marcha del equipo	Control	Mejorable	
Fin de la puesta en marcha				
	Verificación del correcto funcionamiento del equipo			Mejorable
Fin de la intervención				

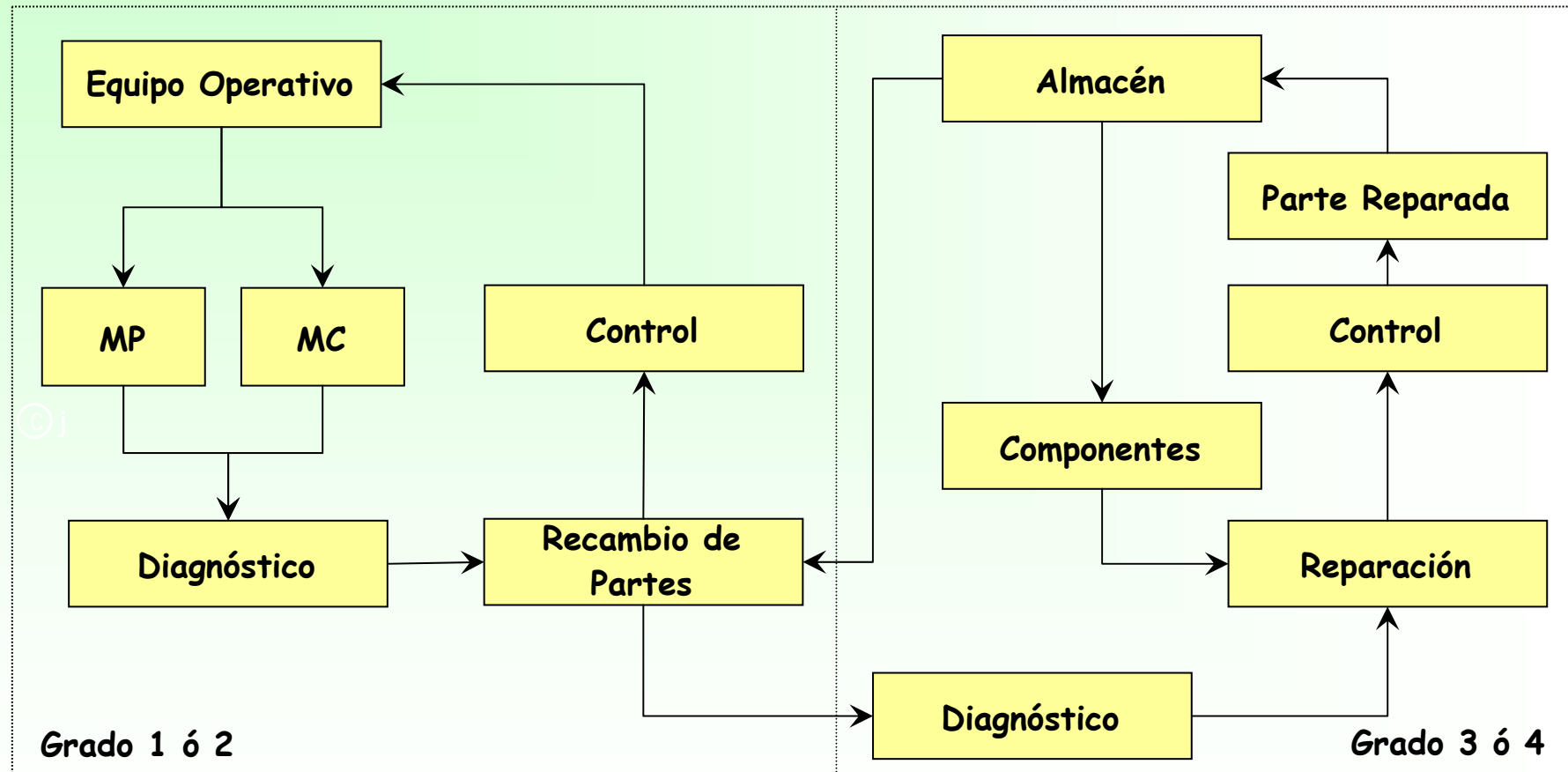
Confiabilidad y Mantenibilidad



Confiabilidad y Mantenibilidad

Grado de Mantenimiento	1	2	3	4	5
Tipo de Trabajo	Ajustes Simples	Recambios de Partes Estandars	Identificación de Fallas y Reparación a nivel Componente	Mantenimiento Correctivo y Preventivo	Reparaciones Importantes y Puesta a Nuevo
Lugar de Trabajo	In Situ	In Situ	Taller Especializado	Taller Especializado	Taller del Fabricante
Personal	Usuario	Técnico Capacitado	Técnico Especializado	Técnico Muy Especializado	Definido por el Fabricante
Herramientas e Instrumentos	Ninguna	De Facil Transporte	Previstas en el Manual de Mantenimiento	Previstas en el Manual de Mantenimiento	Definido por el Fabricante
Documentación	Manual del Usuario	Información Sobre Mantenimiento	Manual de Mantenimiento	Manual de Mantenimiento e Información Técnica	Toda la Documentación
Partes de Reposición	Stock Confiable	De Facil Obtención	De Obtención en Almacén	De Obtención en Almacen Dedicado	Todas las Existentes

Confiabilidad y Mantenibilidad



Confiabilidad y Mantenibilidad

Si el Sistema admite Mantenimiento Correctivo (MC).

$$A = [\lambda / (\lambda + \mu)].\exp.[-(\mu + \lambda).t] + [\mu / (\lambda + \mu)]$$

$$A_{ee} = \mu / (\lambda + \mu) = MTBF / (MTBF + MTTR)$$

Si $\lambda \ll \mu$:

$$A_{ee} \cong 1 - \lambda / \mu = 1 - \lambda.MTTR$$

Confiabilidad y Mantenibilidad

Si el Sistema admite Mantenimiento Preventivo (MP).

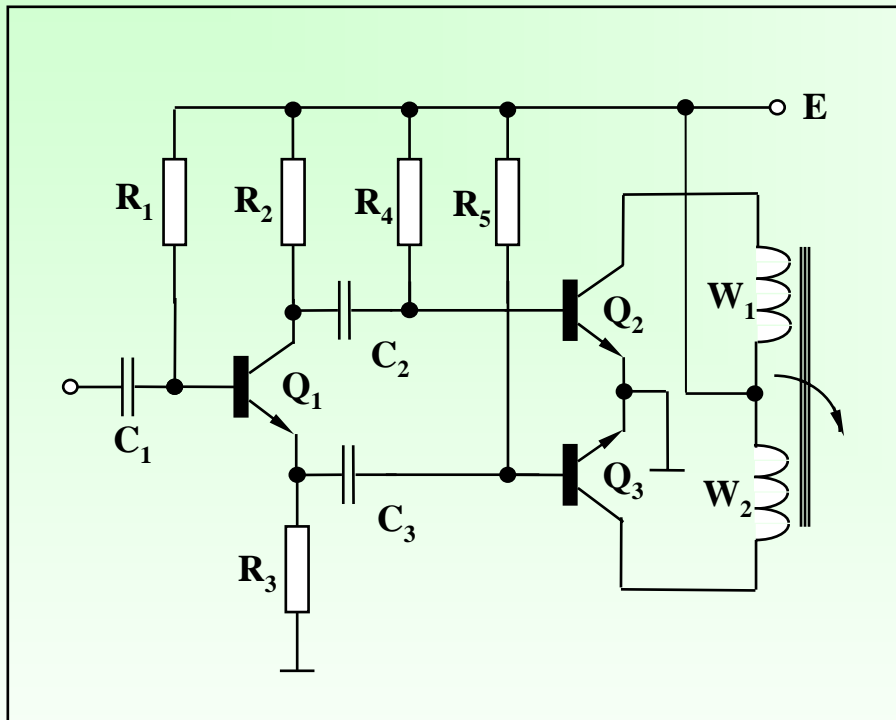
$$A_m = (1/T_t) \cdot \int_0^{T_t} \exp.(-\lambda.t).dt$$

Si $\lambda t \ll 1$:

$$A_m = (1/T_t) \cdot \int_0^{T_t} (1-\lambda.t).dt$$

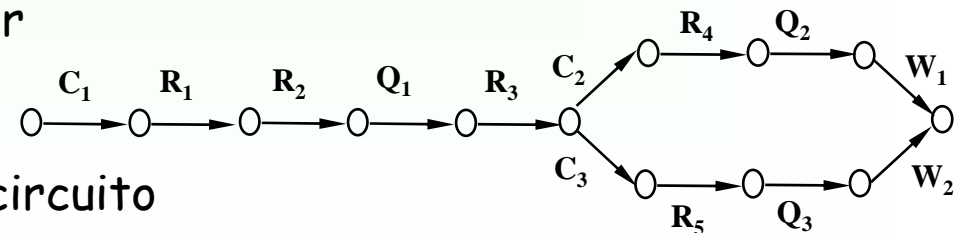
$$A_m = 1 - (\lambda \cdot T_t / 2)$$

Confiabilidad y Diseño



Amplificador de servomotor

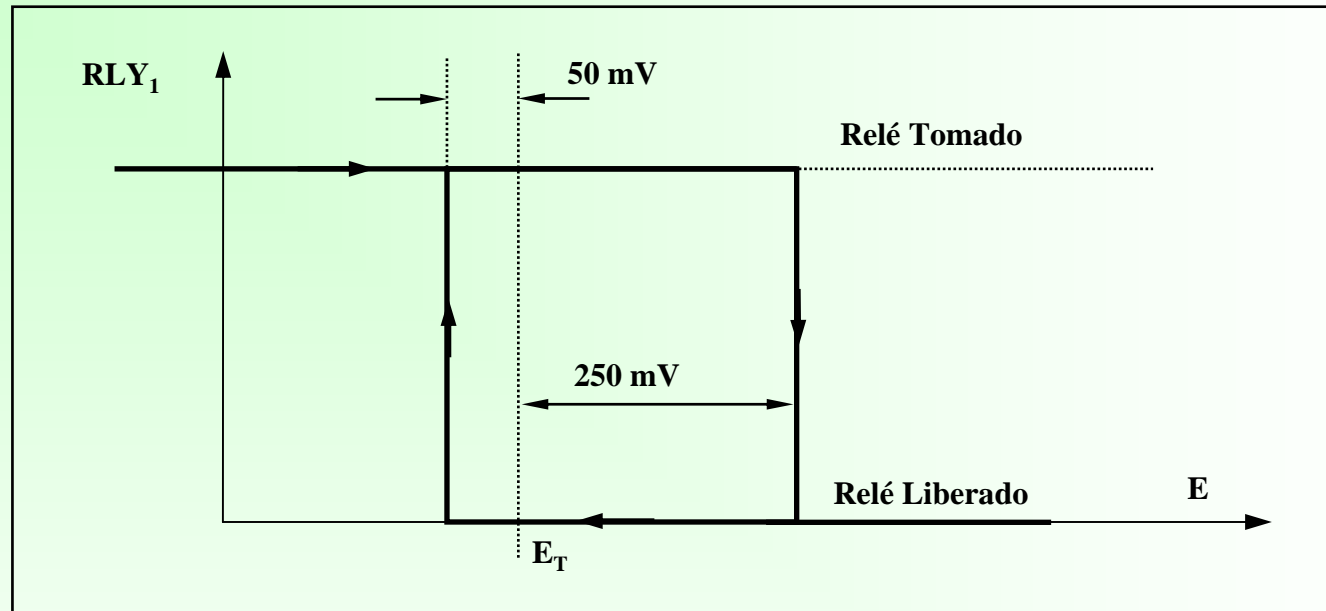
Grafo de confiabilidad del circuito



Redundancia: pues la falla en una mitad del circuito no impide, en general, que siga funcionando la otra mitad.

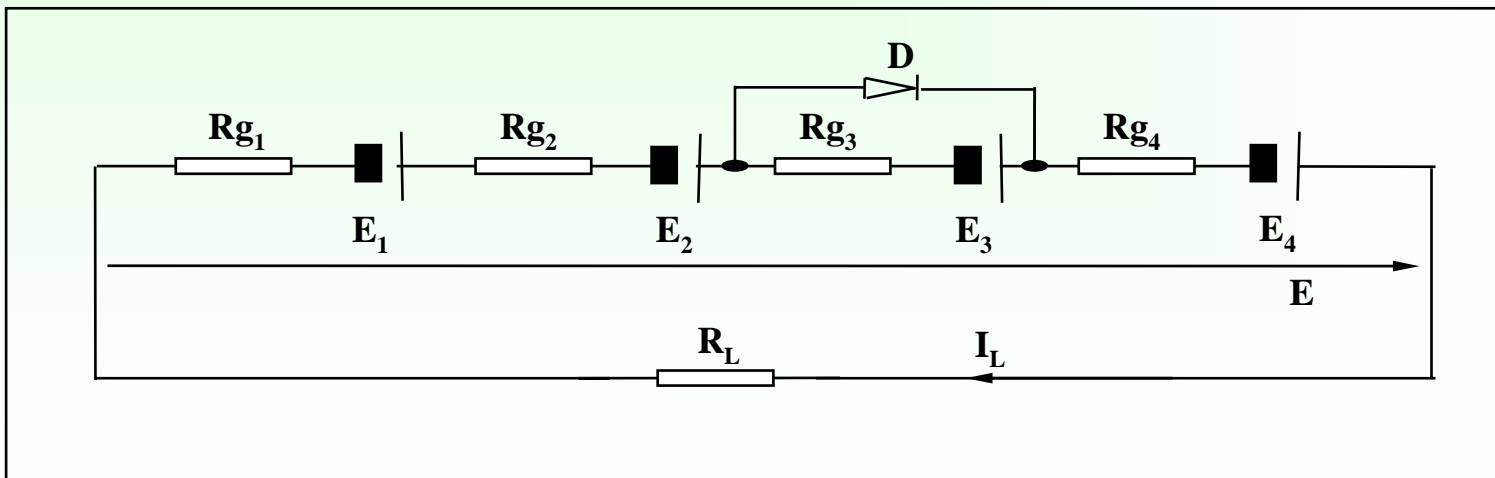
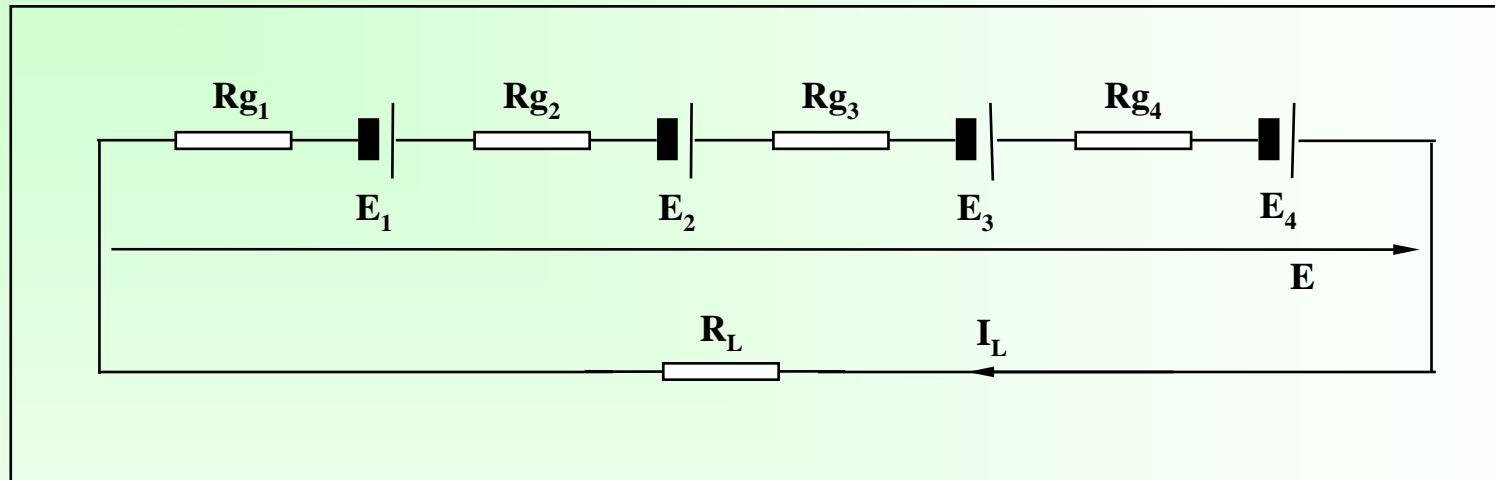
Mejora las condiciones de linealidad y potencia de salida.

Confiabilidad y Diseño



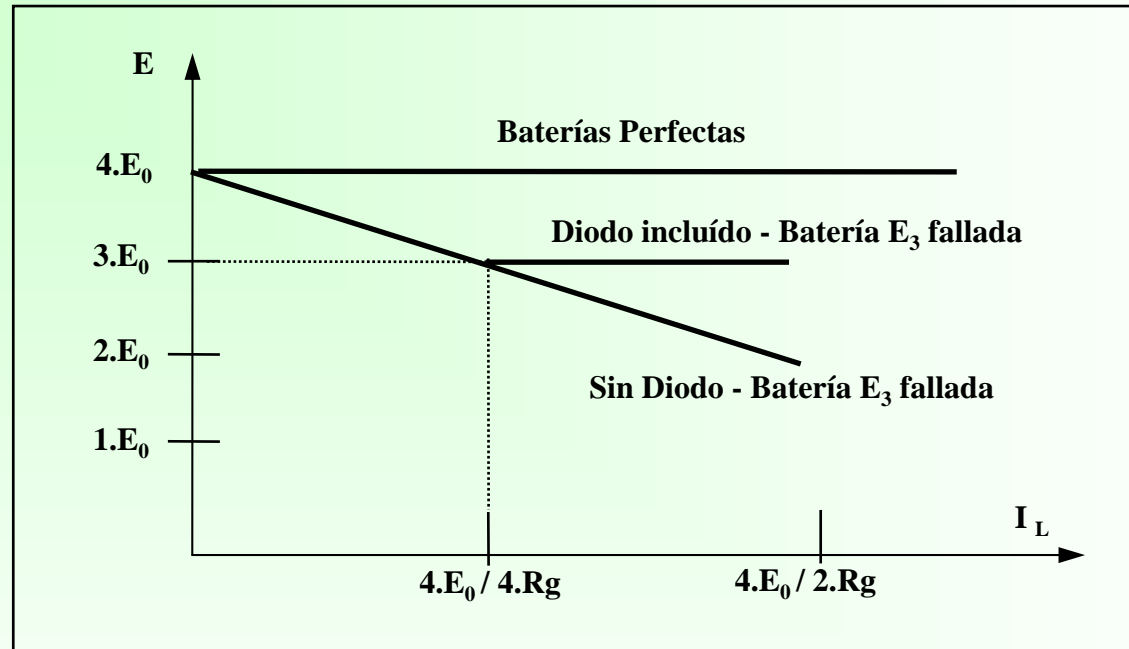
Otro ejemplo considerado, en general, como un principio de diseño es el denominado de falla segura (*fail-safe*) o fallas *sin riesgo*. Este principio o lema indica diseñar el o los circuitos de tal forma que cualquier falla en componentes se traduzca en condiciones *estables y seguras* del equipo. Por supuesto que previamente se hace necesario definir cuales son esas condiciones y estas depende del sistema, equipo y de las funciones que ambos desarrollan.

Confiabilidad y Diseño



Conjunto de Baterías en Cascada.

Confiabilidad y Diseño

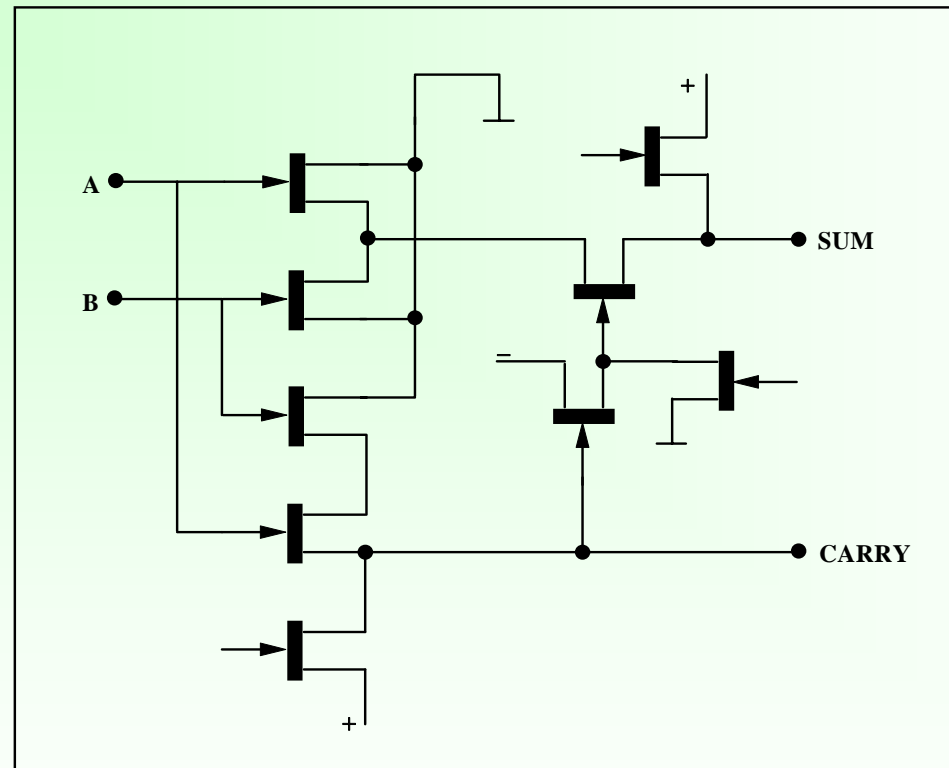


El agregado de un diodo en derivación con la batería dañada se convierte en solución del problema. Cuando la corriente de carga I_L es suficiente como para que E sea igual a $3E_0$, la caída de tensión a través de R_{g3} es E_0 y en ese punto el diodo D comienza a conducir, cortocircuitando las terminales de la batería fallada. La tensión sobre la carga se mantendrá en $3E_0$.

Confiabilidad y Diseño

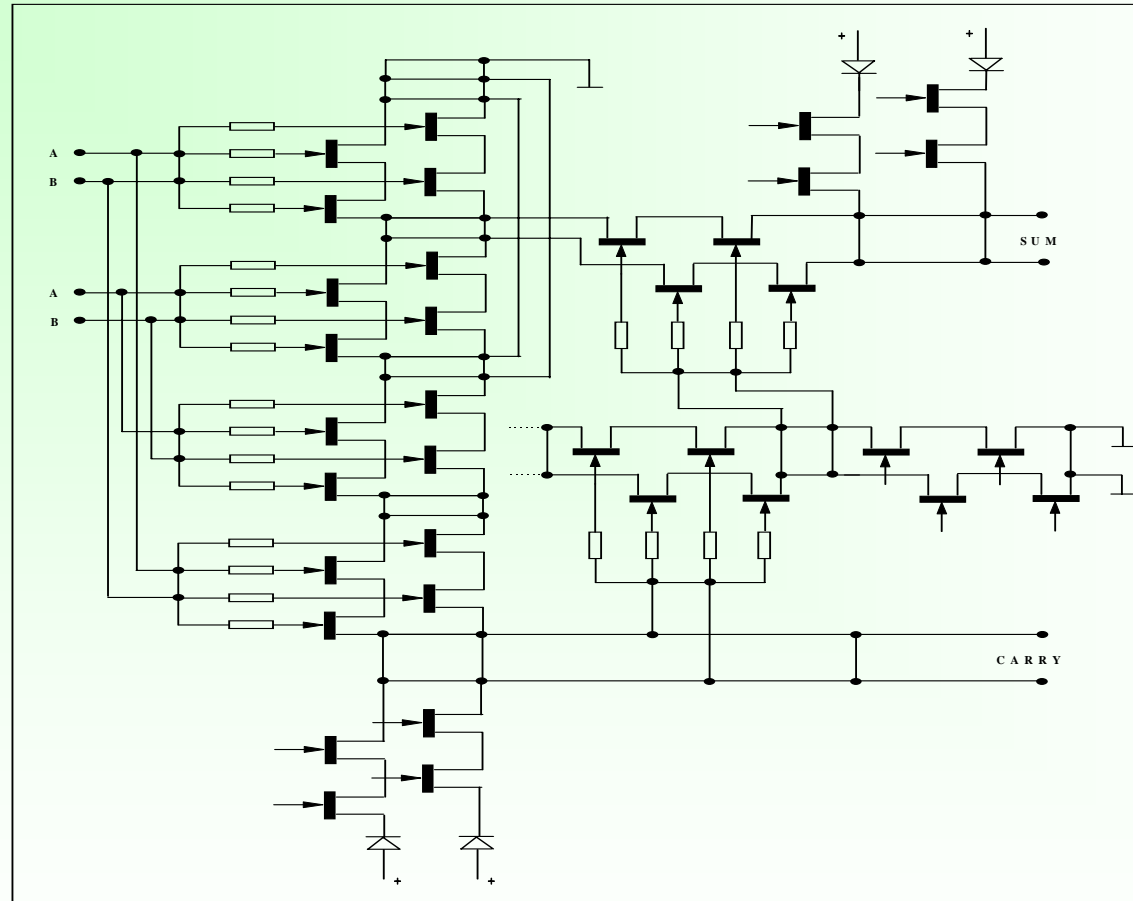
Componente	λ (hs ⁻¹)	Nominal	λ' (hs ⁻¹)	% de Nominal	λ / λ'	Observaciones
Transistores	$2 \cdot 10^{-6}$	Pot. Nom.	$0,55 \cdot 10^{-6}$	50 % Pot. Nom.	3,6 / 1	T.amb = 25°C
Diodos	10^{-6}	Pot. Nom.	$0,3 \cdot 10^{-6}$	50 % Pot. Nom.	3,3 / 1	T.amb = 25°C
Integrados	$2 \cdot 10^{-8}$	Pot. Nom.	$0,5 \cdot 10^{-6}$	50 % Pot. Nom.	4 / 1	T.amb = 25°C
Resistores	$6 \cdot 10^{-8}$	Pot. Nom.	$1 \cdot 10^{-8}$	50 % Pot. Nom.	6 / 1	T.amb = 40°C
Capacitores	$7,5 \cdot 10^{-7}$	Tensión Nominal	$0,5 \cdot 10^{-7}$	50 % Ten. Nom.	15 / 1	T.amb = 40°C
Transformadores	$1,1 \cdot 10^{-5}$	Temp. Int. 100°C	$0,05 \cdot 10^{-5}$	Temp. Int. 60°C	22 / 1	T.mat de aislación 105°C

Confiabilidad y Diseño



Medio Sumador - Configuración No Redundante.

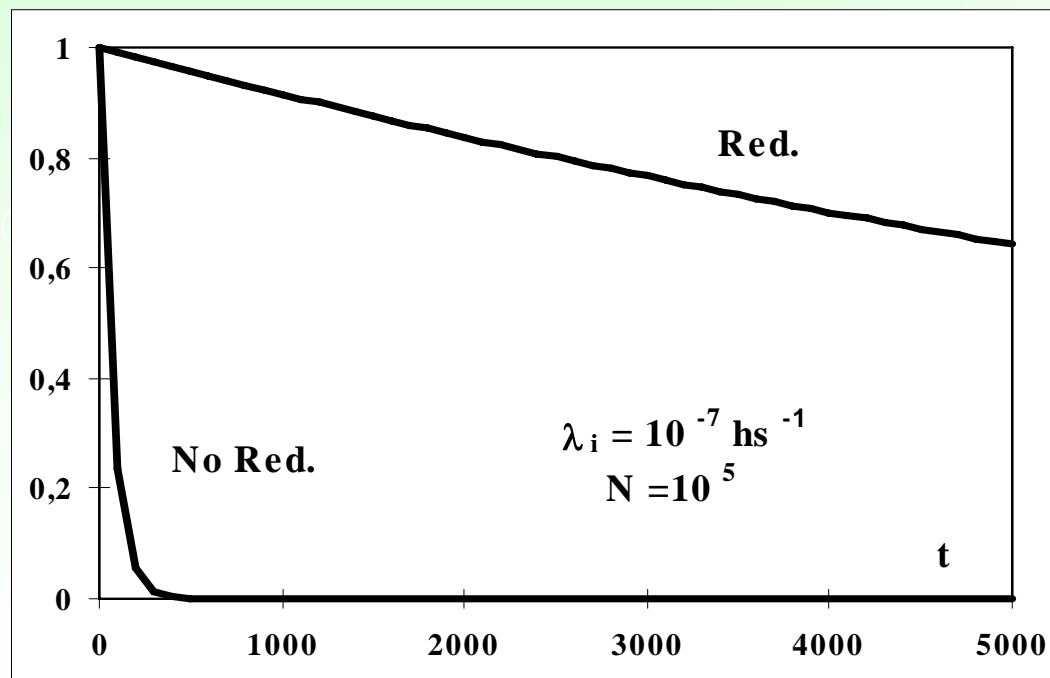
Confiabilidad y Diseño



Medio Sumador - Configuración Redundante a Nivel Circuito

Confiabilidad y Diseño

N	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7
n_T	90	286	904	2859	9040
λ'/λ''	16	52	163	515	1630



Número de componentes fallados para un tiempo hasta la falla y factor de mérito como función del número de componentes totales.

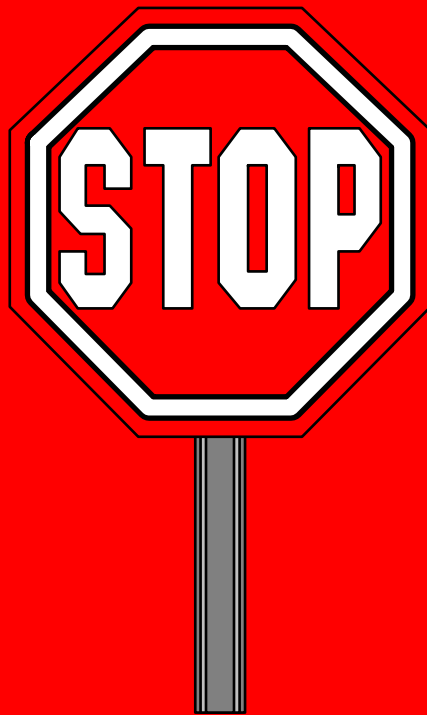
Confiabilidad para configuraciones Redundante a Nivel Circuito y No Redundante

Conclusiones

“Con la Calidad y la Confiabilidad ocurre como con la religión (con perdón), que son muchos los creyentes pero muy pocos los practicantes”

Manuel Quevedo “Grupo Mondragón”

Conclusiones



**Las HERRAMIENTAS
están sólo hay que
UTILIZARLAS**

Contacto :

Dr. Ing. José Luis Roca

CONAE - Comisión Nacional de Actividades Espaciales

Avda. Paseo Colón 751

1063 Buenos Aires

0114331-0074 (Int.450)

jlroca@conae.gov.ar

roca.joseluis@gmail.com

011-15-59438026