

Confiabilidad

Diseño de Equipos Electrónicos

ITBA

Confiabilidad-Conceptos Básicos

■ Confiabilidad:

Es la característica de un *elemento*, expresada por la ***probabilidad*** de que el elemento realizará su *función requerida* bajo determinadas *condiciones* para un *intervalo de tiempo* dado.

- Elemento: Unidad funcional que puede ser considerada una entidad
- Función requerida: Determina lo que el elemento debe realizar.
- Condiciones: Se deben especificar claramente las condiciones de funcionamiento (temp, humedad, tensión de trabajo, etc)
- Intervalo de tiempo: Generalmente se toma al tiempo como parámetro por lo que se define a $R(t)$ como la probabilidad de no falla durante el intervalo $(0,t]$ suponiendo $R(0)=1$

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Confiabilidad:**

Es la característica de un *elemento*, expresada por la *probabilidad* de que el elemento realizará su *función requerida* bajo determinadas *condiciones* para un *intervalo de tiempo* dado.

- **Elemento**: Unidad funcional que puede ser considerada una entidad

- Función requerida: Determina lo que el elemento debe realizar.
 - Condiciones: Se deben especificar claramente las condiciones de funcionamiento (temp, humedad, tensión de trabajo, etc)
 - Intervalo de tiempo: Generalmente se toma al tiempo como parámetro por lo que se define a $R(t)$ como la probabilidad de no falla durante el intervalo $(0,t]$ suponiendo $R(0)=1$

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Confiabilidad:**

Es la característica de un *elemento*, expresada por la *probabilidad* de que el elemento realizará su *función requerida* bajo determinadas *condiciones* para un *intervalo de tiempo* dado.

- Elemento: Unidad funcional que puede ser considerada una entidad

- **Función requerida**: Determina lo que el elemento debe realizar

- Condiciones: Se deben especificar claramente las condiciones de funcionamiento (temp, humedad, tensión de trabajo, etc)

- Intervalo de tiempo: Generalmente se toma al tiempo como parámetro por lo que se define a $R(t)$ como la probabilidad de no falla durante el intervalo $(0, t]$ suponiendo $R(0)=1$

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Confiabilidad:**

Es la característica de un *elemento*, expresada por la *probabilidad* de que el elemento realizará su *función requerida* bajo determinadas *condiciones* para un *intervalo de tiempo* dado.

- Elemento: Unidad funcional que puede ser considerada una entidad
- Función requerida: Determina lo que el elemento debe realizar.

- Condiciones: Se deben especificar claramente las condiciones de funcionamiento (temp, humedad, tensión de trabajo, etc)

- Intervalo de tiempo: Generalmente se toma al tiempo como parámetro por lo que se define a $R(t)$ como la probabilidad de no falla durante el intervalo $(0, t]$ suponiendo $R(0)=1$

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Confiabilidad:**

Es la característica de un *elemento*, expresada por la *probabilidad* de que el elemento realizará su *función requerida* bajo determinadas *condiciones* para un *intervalo de tiempo* dado.

- Elemento: Unidad funcional que puede ser considerada una entidad
- Función requerida: Determina lo que el elemento debe realizar.
- Condiciones: Se deben especificar claramente las condiciones de funcionamiento (temp, humedad, tensión de trabajo, etc)

- Intervalo de tiempo: Generalmente se toma al tiempo como parámetro por lo que se define a $R(t)$ como la probabilidad de no falla durante el intervalo $(0, t]$ suponiendo $R(0)=1$

Confiabilidad-Conceptos Básicos

■ **Falla:**

Se determina que ocurrió una falla cuando un determinado elemento deja de cumplir su función requerida.

Se clasifican según:

- **Modo:** El modo de falla es el síntoma por el cual la falla se detecta. Ej: cortocircuitos, circuitos abiertos, fatigas, etc.
- **Causa:** La causa de una falla puede ser:
 - Intrínseca: debido a una debilidad del componente
 - Externas: debido incorrecto uso del componente, error en el diseño, etc
 - Sistemática: cuando se trata de fallas determinísticas
- **Efecto:** La consecuencia de la falla depende generalmente si se considera a nivel componente o a nivel sistema. Los efectos pueden ser:
 - No relevante
 - Parcial
 - Completo
 - Crítica
 - Primaria o Secundaria

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Falla:**

Se determina que ocurrió una falla cuando un determinado elemento deja de cumplir su función requerida.

Se clasifican según:


- **Modo:** El modo de falla es el síntoma por el cual la falla es detectada. Ej: cortocircuitos, circuitos abiertos, fatigas, etc.
- **Causa:** La causa de una falla puede ser:
 - Intrínseca: debido a una debilidad del componente
 - Externas: debido incorrecto uso del componente, error en el diseño, etc
- **Efecto:** La consecuencia de la falla depende generalmente si se considera a nivel componente o a nivel sistema. Los efectos pueden ser:
 - No relevante
 - Parcial
 - Completo
 - Crítica
 - Primaria o Secundaria

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Falla:**

Se determina que ocurrió una falla cuando un determinado elemento deja de cumplir su función requerida.

Se clasifican según:

- **Modo:** El modo de falla es el síntoma por el cual la falla es detectada. Ej: cortocircuitos, circuitos abiertos, fatigas, etc.
- **Causa:** La causa de una falla puede ser:
 -  **Intrínseca:** debido a una debilidad del componente
 - Externas: debido incorrecto uso del componente, error en el diseño, etc
- **Efecto:** La consecuencia de la falla depende generalmente si se considera a nivel componente o a nivel sistema. Los efectos pueden ser:
 - No relevante
 - Parcial
 - Completo
 - Crítica
 - Primaria o Secundaria

Confiabilidad-Conceptos Básicos

- **Falla:**

Se determina que ocurrió una falla cuando un determinado elemento deja de cumplir su función requerida.

Se clasifican según:

- **Modo:** El modo de falla es el síntoma por el cual la falla es detectada. Ej: cortocircuitos, circuitos abiertos, fatigas, etc.
- **Causa:** La causa de una falla puede ser:
 - Intrínseca: debido a una debilidad del componente
 - Externas: debido incorrecto uso del componente, error en el diseño, etc
- **Efecto:** La consecuencia de la falla depende generalmente si se considera a nivel componente o a nivel sistema. Los efectos pueden ser:
 - No relevante
 - Parcial
 - Completo
 - Crítica
 - Primaria o Secundaria

Confiabilidad-Conceptos Básicos

También pueden clasificarse en:

Fallas por desgaste: Sobreviene con el uso y es una característica de la población.

Según la **velocidad de aparición** se habla de **fallas repentinas o progresivas**.

Según su **grado o severidad** pueden ser **fallas parciales o completas** (cuando pierde toda funcionalidad).

Por otro lado si la falla es por un lapso de tiempo y sin mediar acción externa se **recobra la plena funcionalidad**, entonces se habla de **fallas intermitentes**.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

También pueden clasificarse en:

Fallas por desgaste: Sobreviene con el uso y es una característica de la población.

 Según la **velocidad de aparición** se habla de **fallas repentinas o progresivas**.

Según su **grado** pueden ser **fallas parciales o completas** (cuando pierde toda funcionalidad).

Por otro lado si la falla es por un lapso de tiempo y sin mediar **acción externa** se recupera la plena funcionalidad, entonces se habla de **fallas intermitentes**.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

También pueden clasificarse en:

Fallas por desgaste: Sobreviene con el uso y es una característica de la población.

Según la **velocidad de aparición** se habla de **fallas repentinas o progresivas**.

Según su **grado** pueden ser **fallas parciales o completas** (cuando pierde toda funcionalidad).

Por otro lado si la falla es por un lapso de tiempo y sin mediar acción externa se recupera la plena funcionalidad, entonces se habla de **fallas intermitentes**.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

También pueden clasificarse en:

Fallas por desgaste: Sobreviene con el uso y es una característica de la población.

Según la **velocidad de aparición** se habla de **fallas repentinas o progresivas**.

Según su **grado** pueden ser **fallas parciales o completas** (cuando pierde toda funcionalidad).

Por otro lado si la falla es por un lapso de tiempo y sin mediar acción externa se recupera la plena funcionalidad, entonces se habla de fallas intermitentes.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

Se llega finalmente a una categorización muy relevante de fallas en **dos grandes grupos**:

Fallas por degradación o paramétricas:

progresivas + parciales

Fallas catastróficas:

repentinas + completas + definitivas

Todo el tratamiento que sigue se refiere a fallas catastróficas.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

Se llega finalmente a una categorización muy relevante de fallas en dos grandes grupos:

Fallas por degradación o paramétricas:
progresivas + parciales

Fallas catastróficas:
repentinas + completas + definitivas

Todo el tratamiento que sigue se refiere a fallas catastróficas.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

Se llega finalmente a una categorización muy relevante de fallas en dos grandes grupos:

Fallas por degradación o paramétricas:

progresivas + parciales

Fallas catastróficas: 

repentinadas + completas + definitivas

Todo el tratamiento que sigue se refiere a fallas catastróficas.

Confiabilidad-Conceptos Básicos

Se llega finalmente a una categorización muy relevante de fallas en dos grandes grupos:

Fallas por degradación o paramétricas:

progresivas + parciales

Fallas catastróficas:

repentinas + completas + definitivas

Todo el tratamiento que sigue se refiere a fallas catastróficas.

Fiabilidad-Conceptos Básicos

Tasa de Fallas:

Dados N_0 elementos de un lote.

En un instante $t > 0$ existirán:

$N_f(t)$ elementos que fallaron hasta t

$N_s(t)$ elementos que funcionan en t

Se denomina función de fallas

$$F(t) = N_f(t)/N_0$$

Nos indica la proporción de elementos que fallaron hasta t .

Por otro lado

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

Es la confiabilidad del lote.

Fiabilidad-Conceptos Básicos

Tasa de Fallas:

Queremos hallar los elementos que fallarán en un intervalo $(t, t+\Delta t]$,

Es obvio que en Δt sólo pueden fallar los que estaban funcionando en t
 $\Rightarrow N_s(t)$

Al coeficiente de proporcionalidad que indica esa proporción de fallas, se lo denomina:

Tasa de Fallas: $\lambda(t)$ (en general es función de t)

Por lo tanto, tenemos:

$$\Delta N_f(t) = \lambda(t) N_s(t) \Delta t \Rightarrow$$

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{\Delta N_f(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

Fiabilidad-Conceptos Básicos

Tasa de Fallas:

$$\lambda(t) = \frac{1}{N_s(t)} \cdot \frac{\Delta N_f(t)}{\Delta t} \quad (1)$$

Si tomamos la definición de confiabilidad:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - N_f(t)/N_0 = (N_0 - N_f(t))/N_0 = N_s(t)/N_0 \Rightarrow R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0}$$

Por otro lado: $\Delta F(t) \cdot N_0 = \Delta N_f(t)$ en $\Delta t \Rightarrow$

$$\Delta N_f(t) = \frac{\Delta F(t)}{\Delta t} \cdot N_0 \cdot \Delta t$$

Donde: $\frac{\Delta F(t)}{\Delta t} = \mathbf{f(t)}$ **función densidad de fallas**

Por lo tanto: $\Delta N_f(t) = f(t) \cdot N_0 \cdot \Delta t$

Fiabilidad-Conceptos Básicos

Tasa de Fallas:

De (1)

$$\lambda(t) = -\frac{1}{N_S(t)} \cdot \frac{f(t) \cdot N_0 \cdot \Delta t}{\Delta t} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2)$$

Ahora bien (admitiendo que podemos adoptar los Δ como diferenciales) por otro lado:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{d(1-R(t))}{dt} = \frac{-dR(t)}{dt} \Rightarrow \lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt}$$

Integramos $\int \lambda(t) \cdot dt = -\int dR(t) \Rightarrow -\int_0^t \lambda(t) \cdot dt = \ln R(t)$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t) \cdot dt}$$

Fiabilidad-Conceptos Básicos

MTTF:

hay que
demostrarlo !!!!

$$\text{MTTF} = E(\tau) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

$$\text{Planteamos } d(t \cdot R(t)) = R(t) \cdot dt + t \cdot dR(t)$$

$$= R(t) \cdot dt - t \cdot \frac{dF(t)}{dt} \cdot dt = R(t) \cdot dt - t \cdot f(t) \cdot dt$$

Calculamos $\int_0^{\infty} d(t \cdot R(t)) = \lim_{t \rightarrow \infty} [t \cdot R(t)] - 0 \cdot R(0)$

Si admitimos que $R(t) \rightarrow 0$ para $t \rightarrow \infty$ (alguna vez el elemento fallará) \Rightarrow

$$0 = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt - \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt$$

Fiabilidad-Conceptos Básicos

MTTF:

$$\Rightarrow E(\tau) = MTTF = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) \cdot dt = \int_0^{\infty} R(t) \cdot dt$$

Caso particular

$$\lambda = \text{Constante y } R(t) = e^{-\lambda t}$$

$$\Rightarrow MTTF = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

Fiabilidad-Conceptos Básicos

- La tasa de fallas es en general variable con el tiempo, siendo usual proponer un modelo genérico que es consecuencia de varios mecanismos.
- Uno debido a debilidades que puede tener el elemento por vicios en el proceso de fabricación o debilidad de los materiales y otro debido al desgaste al que está sometido el dispositivo (fallas por degradación)

Fiabilidad-Conceptos Básicos

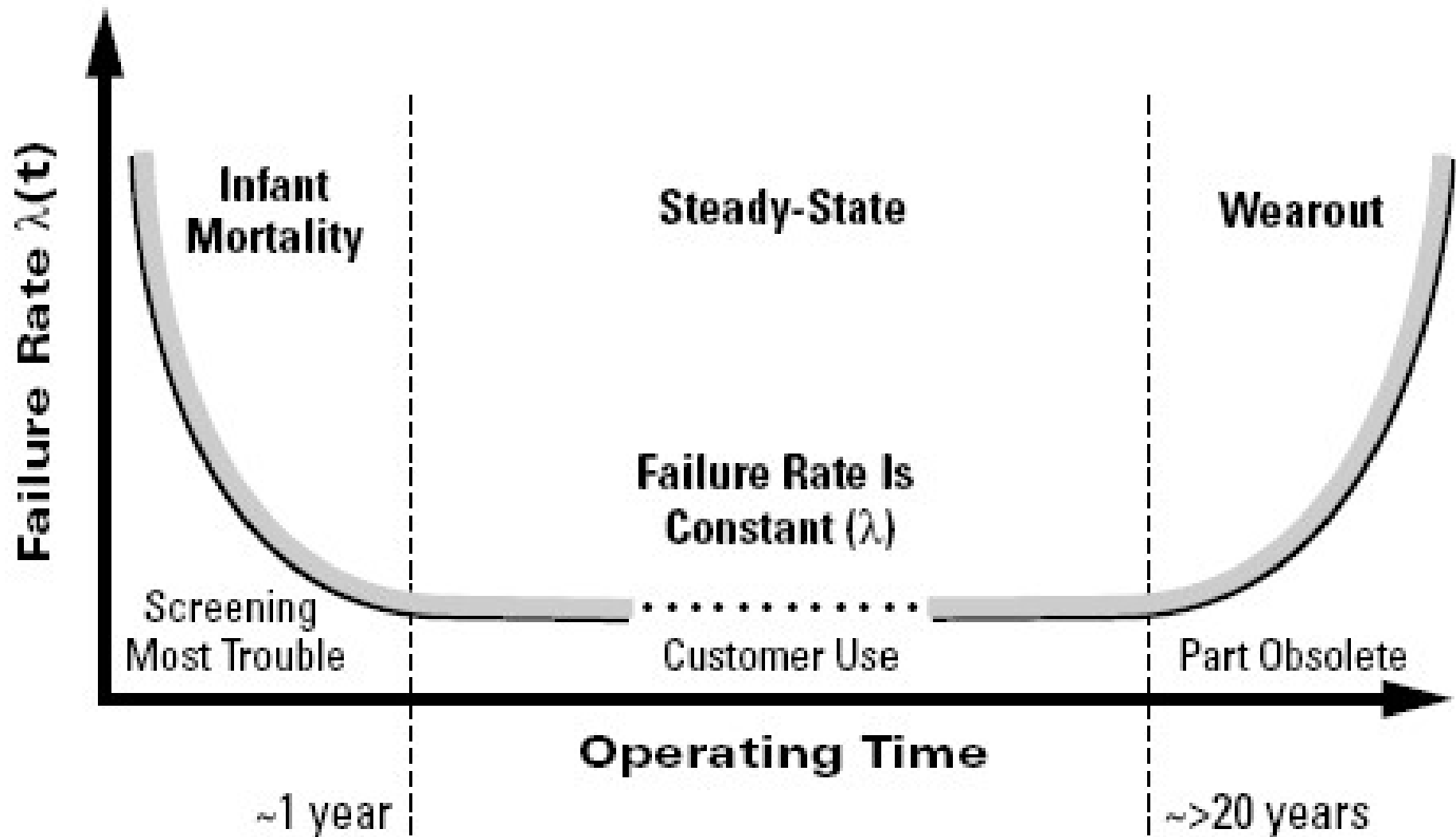
- La tasa de fallas es en general variable con el tiempo, siendo usual proponer un modelo genérico que es consecuencia de varios mecanismos.
- Uno debido a debilidades que puede tener el elemento por vicios en el proceso de fabricación o debilidad de los materiales y otro debido al desgaste al que está sometido el dispositivo (fallas por degradación)

Fiabilidad-Conceptos Básicos

La combinación de ambos efectos determina un comportamiento conocido como curva de la bañera.

Fiabilidad-Conceptos Básicos

La combinación de ambos efectos determina un comportamiento conocido como curva de la bañera.



Fiabilidad-Conceptos Básicos

Fallas **tempranas**, **accidentales** y por **envejecimiento**

- **Tempranas:**

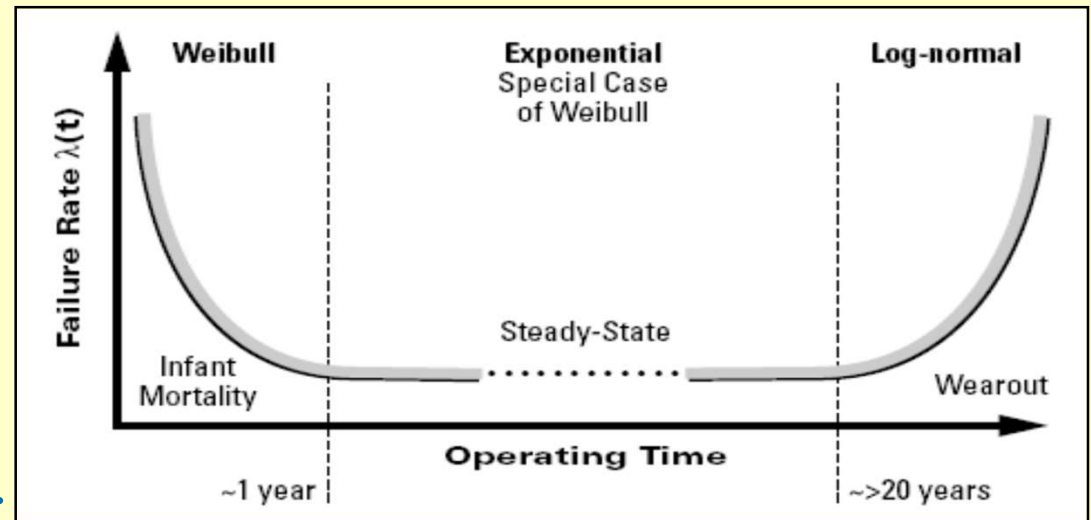
- ✓ $\lambda(t)$ decrece rápidamente
- ✓ Las fallas son atribuibles a debilidades en los materiales componentes, o errores durante la producción.

- **Accidentales**

- ✓ $\lambda(t)$ es prácticamente cte.
- ✓ Las fallas responden a la distribución de Poisson.

- **Envejecimiento:**

- ✓ $\lambda(t)$ se incrementa con el tiempo.
- ✓ Las fallas son atribuibles a la fatiga, desgaste, etc.



Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

El procedimiento para el cálculo de la confiabilidad estimada consiste en:

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

1. Función Requerida

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno

2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)

3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD

4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD

5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD

6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$

7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

- Establece la función del elemento.
- Es el punto de partida para cualquier análisis.
- Debe definirse utilizando las tolerancias aceptables
- Deben establecer las condiciones ambientales
 - Temperatura ambiente y de almacenamiento.
Ej: -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$
 - Humedad, Presión. Ej: 40% a 60%
 - Vibración, Ruido. Ej: 0.5G de 2 Hz a 60Hz
- Para los casos en los que las condiciones de trabajo cambien en el tiempo debe establecerse claramente los escenarios posibles.
- De las condiciones establecidas en esta parte se extraerán las condiciones de operación de cada bloque.

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

2. Diagrama de Confiabilidad (RBD)

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno

2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)

3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD

4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD

5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD

6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$

7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

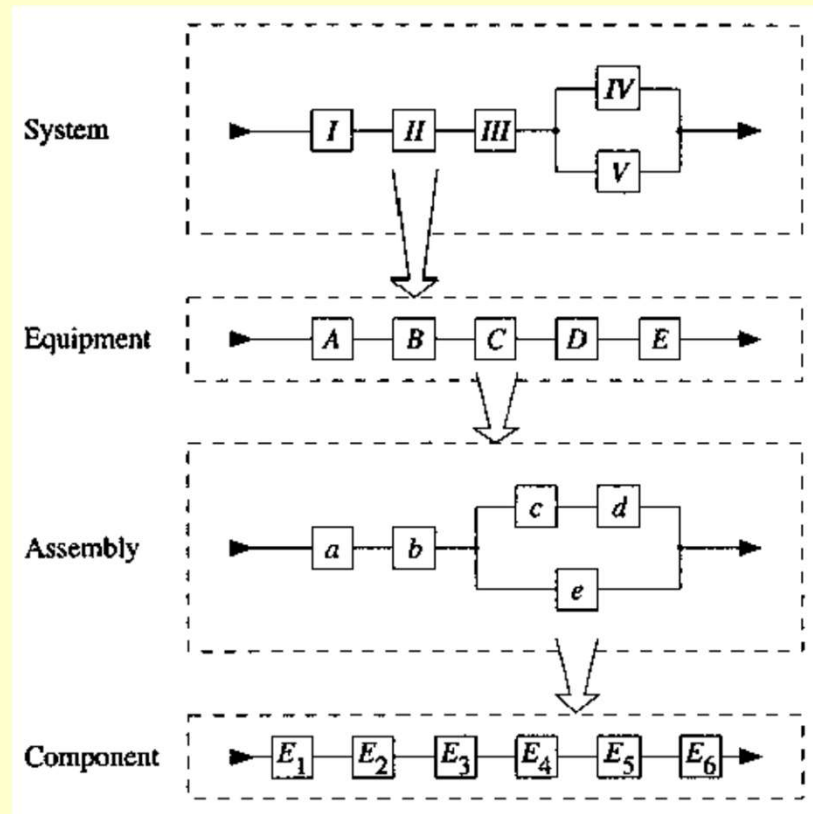
- Es un diagrama de eventos.
- Responde a la pregunta:
 - ¿Qué elementos del sistema son necesarios para realizar la función requerida y cuáles pueden fallar sin afectarla?
- Para su confección se divide al sistema en elementos cuya función pueda ser claramente definida.
- Los elementos que no pueden fallar son conectados en serie.
- Los elementos que pueden fallar son conectados en paralelo.
- Cada elemento puede tener dos estados:
 - Funcionando o dañado
- Cada elemento solo puede tener un modo de falla.
 - Ej: abierto o cortocircuitado

Confiabilidad

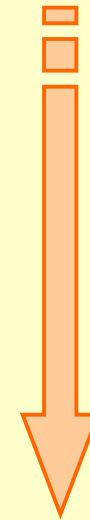
Estimación de la Confiabilidad

■ Diagrama de Confiabilidad (RBD) (cont.)

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.



**Estrategia
Top - Down**



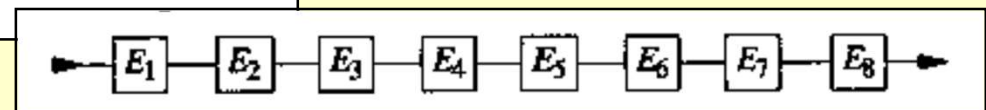
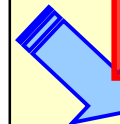
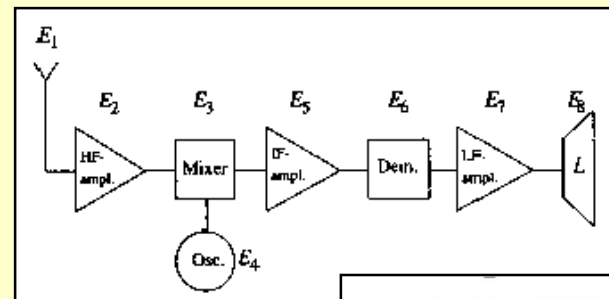
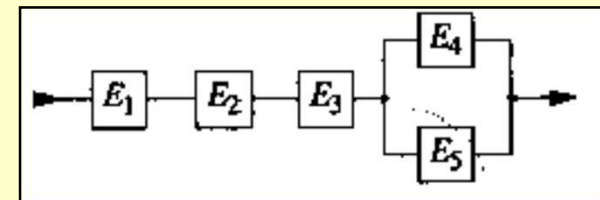
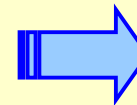
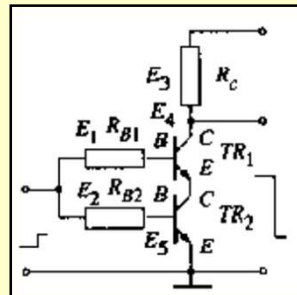
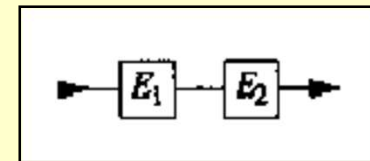
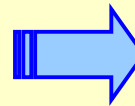
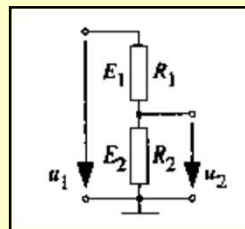
Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

■ Diagrama de Confiabilidad (RBD) (cont.)

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

■ Ejemplos:



Conclusión:
El RBD NO es el diagrama en bloques funcional del sistema.

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

3. Condiciones de operación

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

- Las condiciones de operación impactan directamente sobre la confiabilidad de los elementos.
- Está conformada por dos grupos:
 - Condiciones ambientales
 - Cargas y estrés propio del sistema.
- La suposición básica es que los componentes no están estresados más allá de sus límites.
- Factor de estrés:

$$S = \frac{P}{P_N}$$

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Condiciones de operación

- Parámetros que afectan a la confiabilidad de componentes electrónicos.

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

| Component | Ambient temp. (θ_A) | Junction temp. (θ_J) | Power stress (S) | Voltage stress (S) | Current stress (S) | Breakdown voltage | Technology | Complexity | Package | Application | Contact construction | Range | Production maturity | Environment (π_E) | Quality (π_Q) |
|---------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|-------------------|------------|------------|---------|-------------|----------------------|-------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| Digital and linear ICs | | D | | | x | | x | x | x | | | | x | x | x |
| Hybrid circuits | D | D | D | D | D | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Bipolar transistors | | D | D | | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| FETs | | D | D | | | x | x | x | x | x | x | | x | x | x |
| Diodes | | D | | | | x | x | | x | x | x | x | x | x | x |
| Thyristors | | D | | | | x | x | | x | | x | x | x | x | x |
| Optoelectronic components | | D | | x | x | | x | x | x | | | | x | x | x |
| Resistors | D | | D | | | | x | | | | | x | x | x | x |
| Capacitors | D | | | D | | | x | | | | | x | x | x | x |
| Coils, transformers | D | | x | x | | | x | | | | | | x | x | x |
| Relays, switches | D | | | x | x | | x | x | | x | x | | x | x | x |
| Connectors | D | | | | x | | x | | x | x | x | x | x | x | x |

D denotes dominant, x denotes important

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

4. Cálculo de la tasa de falla de cada elemento

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

- Se supone que el componente está trabajando dentro de su vida útil (λ cte.)

$$\lambda(t) = \lambda$$

- Normalmente se utilizan modelos referidos a estándares aceptados mundialmente

- Bellcore TR-332, CNET RDF 93, IEC 61709, MIL-HDBK-217F

- Establecen la dependencia de la tasa de fallas frente a las distintas cargas a la cual es sometido el componente.

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A$$

λ_0 : Tasa de fallas base.

π_T : Factor multiplicador por Temperatura.

π_E : Factor multiplicador por Ambiente de trabajo.

π_Q : Factor multiplicador asociado a la calidad del componente.

π_A : Factor mutiplicador dependiente de la aplicación.

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Cálculo de la tasa de falla de cada elemento (cont.)

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A$$

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

Temperature Factor - π_T

| $T_J (^{\circ}\text{C})$ | π_T | $T_J (^{\circ}\text{C})$ | π_T |
|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
| 25 | 1.0 | 105 | 4.5 |
| 30 | 1.1 | 110 | 4.8 |
| 35 | 1.3 | 115 | 5.2 |
| 40 | 1.4 | 120 | 5.6 |
| 45 | 1.6 | 125 | 5.9 |
| 50 | 1.7 | 130 | 6.3 |
| 55 | 1.9 | 135 | 6.8 |
| 60 | 2.1 | 140 | 7.2 |
| 65 | 2.3 | 145 | 7.7 |
| 70 | 2.5 | 150 | 8.1 |
| 75 | 2.8 | 155 | 8.6 |
| 80 | 3.0 | 160 | 9.1 |
| 85 | 3.3 | 165 | 9.7 |
| 90 | 3.6 | 170 | 10 |
| 95 | 3.9 | 175 | 11 |
| 100 | 4.2 | | |

$$\pi_T = \exp \left(- 2114 \left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

T_J = Junction Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Cálculo de la tasa de falla de cada elemento (cont.)

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A$$

Table 2.3 Indicative figures for environmental conditions and for the corresponding environmental factor (π_E) according to MIL-HDBK-217 F and CNET RDF 93

| Environment | Stress (indicative values) | | | | | π_E factor | | | |
|-----------------------------|----------------------------|-----|------|------------|--|----------------|-------|-----------|-----------|
| | Vibrations | Fog | Dust | RH (%) | Mech. shocks | ICs | DS | R | C |
| G_B (Ground benign) | 2-200 Hz $\leq 0.1 g_n$ | 1 | 1 | 40 -70 | $\leq 5 g_n / 22 \text{ ms}$ | 1* | 1 | 1 | 1 |
| G_F (Ground fixed) | 2-200 Hz 1 g_n | m | m | 5 -100 | $\leq 20 g_n / 6 \text{ ms}$ | 2.5 | 2.5** | 2.5 -3 | 2.5 -3 |
| G_M (Ground mobile) | 2-500 Hz 3 g_n | m | m | 5 -100 | 30 $g_n / 11 \text{ ms}$ to 100 $g_n / 6 \text{ ms}$ | 5 | 5** | 5.5 -9 | 5.5 -9 |
| N_S (Nav. sheltered) | 2-200 Hz 2 g_n | 1 | 1 | 5 -100 | 10 $g_n / 11 \text{ ms}$ to 30 $g_n / 6 \text{ ms}$ | 4 | 4** | 4 -7 | 4 -7 |
| N_U (Nav. unsheltered) | 2-200 Hz 5 g_n | h | m | 10 -100 | 10 $g_n / 11 \text{ ms}$ to 50 $g_n / 2.3 \text{ ms}$ | 6 | 6** | 7 -12 | 7 -12 |

C = capacitors, DS = discrete semiconductors, RH = relative humidity, R = resistors, h = high, m = medium, 1 = low, $g_n = 10 \text{ m/s}^2$, * 0.5 in MIL HDBK-217 F

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Cálculo de la tasa de falla de cada elemento (cont.)

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A$$

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

| | Qualification (π_{Q1}) | | | Evaluation (π_{Q2}) | |
|-------------------------|------------------------------|-------|------------|---------------------------|---------|
| | Reinforced | CECC* | no special | with | without |
| Monolithic ICs | 0.7 | 1.0 | 1.3 | 1.0 | 1.3 |
| Hybrid ICs | 0.2 | 1.0 | 1.5 | 1.0 | 1.5 |
| Discrete Semiconductors | 0.2 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 |
| Resistors | 0.1 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 |
| Capacitors | 0.1 | 1.0 | 2.0 | 1.0 | 2.0 |

* correspond approximately to MIL-HDBK-217 F classes B-1, JANTX, M

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Cálculo de la tasa de falla de cada elemento (cont.)

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

$$\lambda = \lambda_0 \cdot \pi_T \cdot \pi_E \cdot \pi_Q \cdot \pi_A$$

| Application Factor - π_A | |
|------------------------------|---------|
| Application | π_A |
| Linear Amplification | 1.5 |
| Switching | .70 |

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

■ Cálculo de la tasa de falla de cada elemento (cont.)

■ Ejemplo MIL-HDBK-217F

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

6.3 TRANSISTORS, LOW FREQUENCY, BIPOLAR

SPECIFICATION

MIL-S-19500

DESCRIPTION

NPN (Frequency < 200 MHz)

PNP (Frequency < 200 MHz)

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_Q \pi_E \quad \text{Failures/10}^6 \text{ Hours}$$

Base Failure Rate - λ_b

| Type | λ_b |
|-------------|-------------|
| NPN and PNP | .00074 |

Application Factor - π_A

| Application | π_A |
|----------------------|---------|
| Linear Amplification | 1.5 |
| Switching | .70 |

Temperature Factor - π_T

| $T_J (^{\circ}\text{C})$ | π_T | $T_J (^{\circ}\text{C})$ | π_T |
|--------------------------|---------|--------------------------|---------|
| 25 | 1.0 | 105 | 4.5 |
| 30 | 1.1 | 110 | 4.8 |
| 35 | 1.3 | 115 | 5.2 |
| 40 | 1.4 | 120 | 5.6 |
| 45 | 1.6 | 125 | 5.9 |
| 50 | 1.7 | 130 | 6.3 |
| 55 | 1.9 | 135 | 6.8 |
| 60 | 2.1 | 140 | 7.2 |
| 65 | 2.3 | 145 | 7.7 |
| 70 | 2.5 | 150 | 8.1 |
| 75 | 2.8 | 155 | 8.6 |
| 80 | 3.0 | 160 | 9.1 |
| 85 | 3.3 | 165 | 9.7 |
| 90 | 3.6 | 170 | 10 |
| 95 | 3.9 | 175 | 11 |
| 100 | 4.2 | | |

$$\pi_T = \exp \left(-2114 \left(\frac{1}{T_J + 273} - \frac{1}{298} \right) \right)$$

T_J = Junction Temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Power Rating Factor - π_R

| Rated Power (P_r , Watts) | π_R |
|------------------------------|---------|
| $P_r \leq .1$ | .43 |
| $P_r = .5$ | .77 |
| $P_r = 1.0$ | 1.0 |
| $P_r = 5.0$ | 1.8 |
| $P_r = 10.0$ | 2.3 |
| $P_r = 50.0$ | 4.3 |
| $P_r = 100.0$ | 5.5 |
| $P_r = 500.0$ | 10 |

$\pi_R = .43$

Rated Power $\leq .1\text{W}$

$\pi_R = (P_r)^{.37}$

Rated Power $> .1\text{W}$

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Cálculo de la tasa de falla de cada elemento (cont.)
 - Ejemplos comparativa normas:

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

| | <i>MIL-HDBK-217 F</i> | <i>RDF 93</i> | <i>SN 29500</i> | λ_{ref}^* |
|--|-----------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| 4 M DRAM | 37 | 61 | 34 | 30 |
| 1 M SRAM | 103 | 88 | 56 | 50 |
| 1 M EPROM | 32 | 54 | 101 | 30 |
| 80486 μ P | 509** | 150 | 48 | 100 |
| LM741 op amp | 24 | 23 | 9 | 10 |
| Dig. CMOS, 30,000 gates, 40 pins (ASIC) | 144** | 34 | 59 | 20 |
| 100 mA GP diode | 2 | 2 | 2 | 2 |
| LED | 1.5 | 2 | 2 | 2 |
| 1 W bip. transistor | 0.5 | 3 | 3.5 | 2 |
| 1 W MOSFET | 27 | 4 | 27 | 2 |
| 1 nF ceramic capacitor (125°C, class 2) | 1.5 | 2 | 2 | 1 |
| 1 μ F foil capacitor | 3 | 2 | 1 | 1 |
| 100 μ F Ta solid capacitor (125°C, $\leq 0.4 \Omega/V$) | 2 | 13 | 2 | 5 |
| 100 μ F Al wet capacitor (125°C) | 18 | 10 | 4 | 10 |
| 100 k Ω metal film resistor | 0.5 | 0.3 | 0.1 | 0.2 |
| 50 k Ω cermet potentiometer | 41 | 16 | 40 | 10 |

* λ_{ref} is the failure rate assumed here as a possible reference for computations according to IEC 61709 [2.24]
 ** obviously too high

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

5. Cálculo de la confiabilidad de cada elemento.

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

- Sabiendo que:

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$$

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}$$

- El tiempo medio entre fallas para un elemento queda determinado por:

$$MTBF = \int_0^{\infty} R(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda}$$

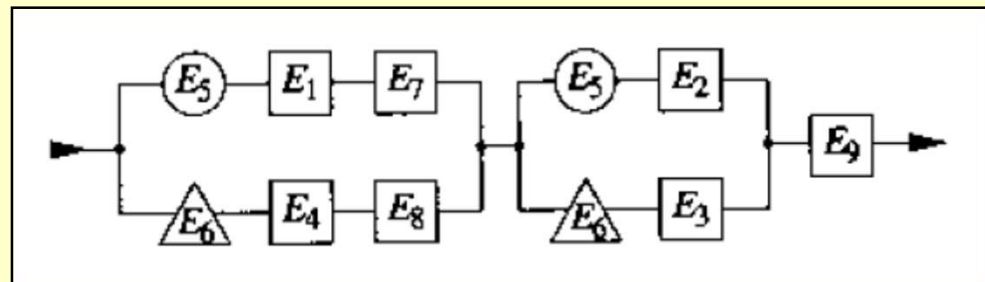
Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

6. Cálculo de la confiabilidad del sistema.

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

- Rara vez el sistema está compuesto por un solo elemento
- Es necesario establecer un modelo de cálculo para estimar la confiabilidad de diversos elementos interconectados de acuerdo al RBD.



- Los modelos básicos a estudiar son:
 - Elementos en serie
 - Elementos en paralelo
 - Redundancia activa
 - Redundancia pasiva

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

■ Elementos en serie.

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_S(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

Conclusión: Todos los elementos deben funcionar correctamente
La tasa de fallas de un sistema sin redundancia conformado por elementos independientes es igual a la suma de la tasa de falla de sus componentes

■ Supongamos el evento:

e_i = el elemento E_i trabaja sin fallas en el intervalo $(0, t]$

■ Confiabilidad asociada a este elemento será:

$$\Pr\{e_i\} = \Pr\{\tau_i > t\} = R_i(t)$$

■ Por lo que la confiabilidad del sistema será:

$$R_S(t) = \Pr\{e_1 \cap \dots \cap e_n\}$$

■ Por lo que:

$$R_S(t) = \prod_{i=1}^n R_i(t) \quad \lambda_S(t) = \sum_{i=1}^n \lambda_i(t) \quad \frac{1}{\lambda_S} = MTBF_S$$

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(x) dx}$$

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

■ Elementos en Paralelo.

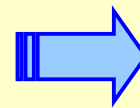
- Mismas hipótesis que para el caso anterior.
- La función requerida es llevada a cabo si al menos uno de los elementos funciona correctamente.
- Supongamos el evento en un sistema de dos:

$$R_s(t) = \Pr\{e_1 \cup e_2\} = \Pr\{e_1\} + \Pr\{e_2\} - \Pr\{e_1 \cap e_2\}$$

$$R_s(t) = \Pr\{e_1\} + \Pr\{e_2\} - \Pr\{e_1\} \cdot \Pr\{e_2\} = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) \cdot R_2(t)$$

- Para el caso particular donde:

$$R_1 = R_2 = e^{-\lambda t}$$



$$R_s = 2 e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$$

$$MTTF_s = \frac{2}{\lambda} - \frac{1}{2\lambda} = \frac{3}{2\lambda}$$

- Generalizando:

- Para un sistema k-de-n

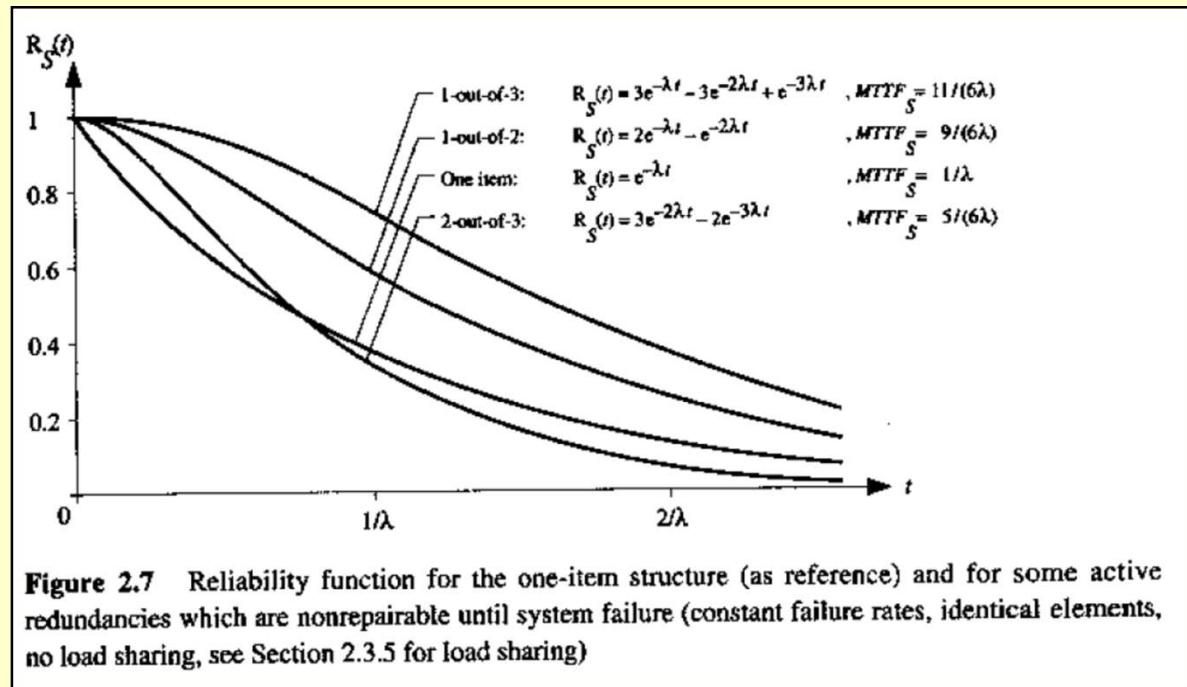
$$R_s(t) = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i(t) (1 - R(t))^{n-i}$$

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

■ Elementos en Paralelo (cont.).

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_S(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.



Conclusión:

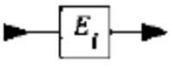

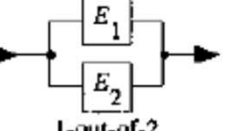
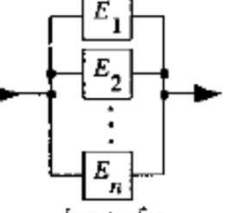
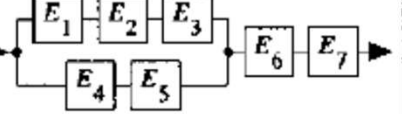
El incremento de la confiabilidad empleando redundancia es muy importante cuando la vida esperada del sistema es mucho menor que $1/\lambda$

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

■ Estructuras comunes:

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_S(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

| Reliability Block Diagram | Reliability Function ($R_S = R_S(t)$, $R_i = R_i(t)$) | Remarks |
|--|--|--|
| 1  | $R_S = R_i$ | One-item structure, for $\lambda(t) = \lambda \Rightarrow R_i(t) = e^{-\lambda_i t}$ |
| 2  | $R_S = \prod_{i=1}^n R_i$ | Series structure $\lambda_S(t) = \lambda_1(t) + \dots + \lambda_n(t)$ |
| 3  1-out-of-2 | $R_S = R_1 + R_2 - R_1 R_2$ | 1-out-of-2 redundancy, $R_1(t) = R_2(t) = e^{-\lambda t} \Rightarrow$ $R_S(t) = 2e^{-\lambda t} - e^{-2\lambda t}$ |
| 4  k-out-of-n | $R_1 = \dots = R_n = R$ $R_S = \sum_{i=k}^n \binom{n}{i} R^i (1-R)^{n-i}$ | k-out-of-n redundancy, for $k=1 \Rightarrow$ $R_S = 1 - (1-R)^n$ |
| 5  | $R_S = (R_1 R_2 R_3 + R_4 R_5 - R_1 R_2 R_3 R_4 R_5) R_6 R_7$ | Series/parallel structure |

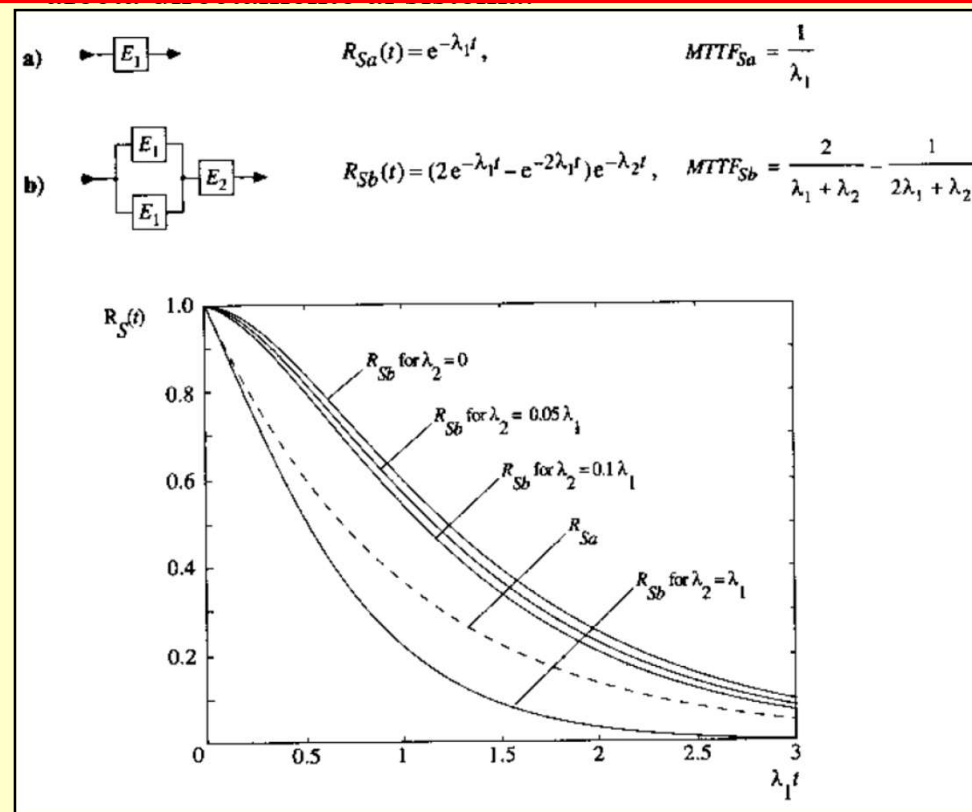
Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

■ Redundancia Activa:

1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

Conclusión: El uso de redundancia activa generalmente implica el agregado de un elemento serie encargado de realizar la conmutación entre dos o más módulos de backup. La tasa de fallas del elemento conmutador en un sistema con redundancia activa, no debe ser más que el 10% de la tasa de fallas de los elementos redundantes.



Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

7. Modificar el diseño:

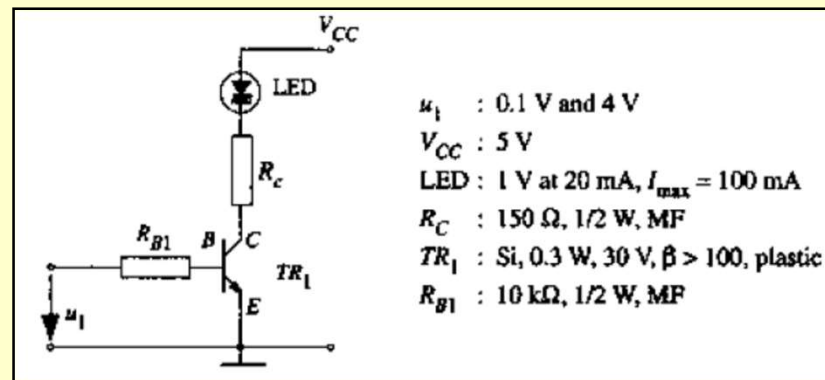
1. Definir la función requerida y sus variables de entorno
2. Confeccionar el diagrama de confiabilidad correspondiente (RBD)
3. Identificar las condiciones de operación de cada bloque del RBD
4. Determinar la tasa de falla para cada elemento del RBD
5. Calcular la confiabilidad para cada elemento del RBD
6. Calcular la confiabilidad del sistema $R_s(t)$
7. Modificar el diseño y comenzar por el punto 1 nuevamente.

- Si las metas de confiabilidad no son alcanzadas, se deben identificar las debilidades.
- Se deben plantear alternativas de diseño para minimizar dicha debilidades
- Se debe elegir las más apropiada
- Se tiene que realizar todo el proceso de estimación de confiabilidad nuevamente.

Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Ejemplo:
 - Calcular la confiabilidad estimada del circuito mostrado a continuación.

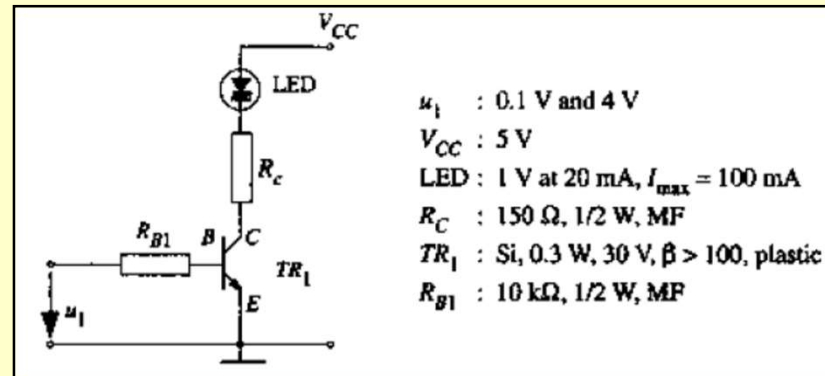


- Datos adicionales:
 - Función Requerida: El LED debe encender cuando u_1 está en alto.
 - Condiciones ambientales:
 - $T_a = 50^\circ\text{C}$ dentro del equipo. $T_a = 30^\circ\text{C}$ en la posición del LED
 - Tipo de ambiente: GB (MIL-HDBK-217)
 - Nivel de calidad de componentes CECC.

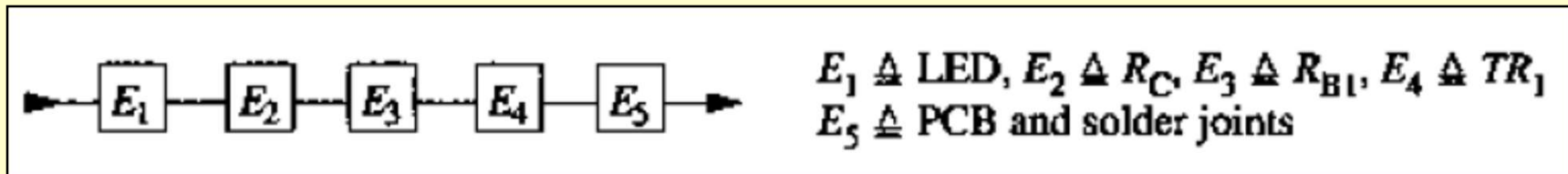
Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Ejemplo (cont.):



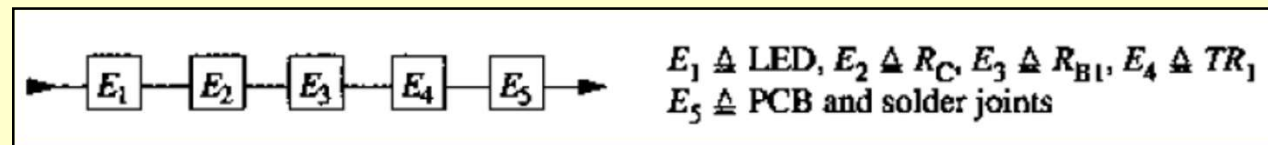
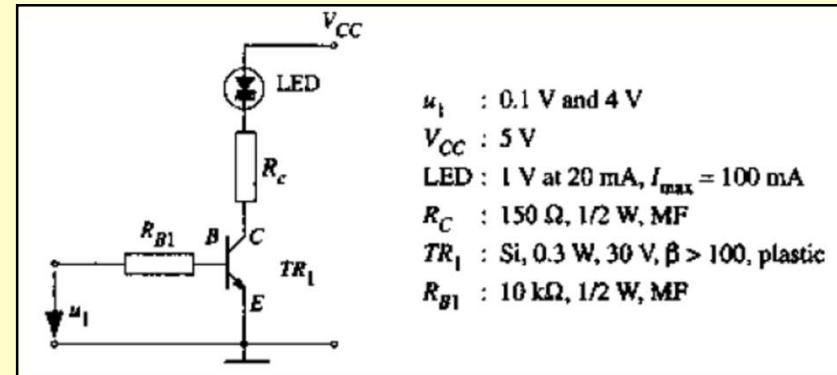
- RBD



Confiabilidad

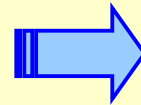
Estimación de la Confiabilidad

■ Ejemplo (cont.):



■ Suponiendo válido que:

| | |
|------------|--|
| LED | : $\lambda_1 \approx 1.3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |
| Transistor | : $\lambda_4 \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |
| Resistor | : $\lambda_2 = \lambda_3 \approx 0.3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |
| | $\lambda_5 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |



$$\lambda_S = \sum \lambda_i = 5.9 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$$

$$R_S(t) = e^{-\lambda_S t}$$

$$R_S(10 \text{ years}) > 0.999$$

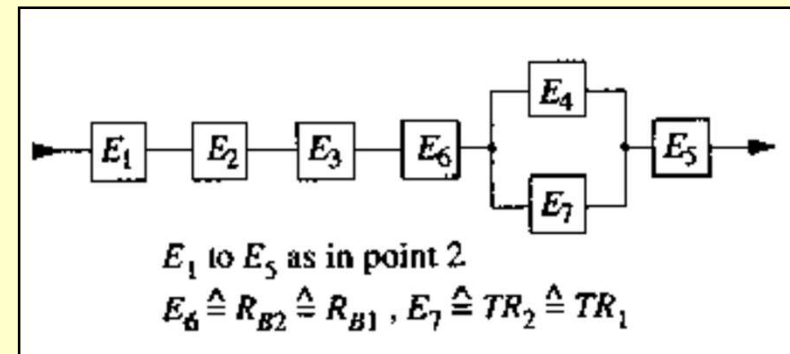
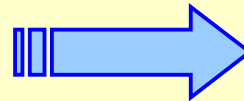
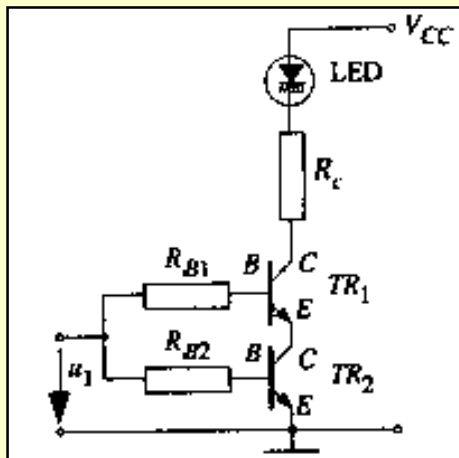
Confiabilidad

Estimación de la Confiabilidad

- Ejemplo (cont.):

- Que sucede si la confiabilidad calculada no es aceptable?
- Cuál es el elemento menos fiable?
- Que alternativa existe para mejorar la confiabilidad?

| | |
|-------------------|--|
| LED | : $\lambda_1 \approx 1.3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |
| Transistor | : $\lambda_4 \approx 3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |
| Resistor | : $\lambda_2 = \lambda_3 \approx 0.3 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |
| | $\lambda_5 = 1 \cdot 10^{-9} \text{ h}^{-1}$ |



- La confiabilidad resultante es:

$$R_S(t) = e^{-3.2 \cdot 10^{-9} t} (2e^{-3 \cdot 10^{-9} t} - e^{-6 \cdot 10^{-9} t}),$$

- Puede ser aproximada a:

$$R_S(t) \approx e^{-3.2 \cdot 10^{-9} t} \quad \text{for } t \leq 10^6 \text{ h.}$$

- Qué sucedería si el modo de falla del transistor fuera la abertura entre colector y emisor? Es válido el análisis realizado?

