

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Unidad 1

Análisis de Confiabilidad

- OBJETIVO General
 - Predecir estadísticamente cual será el comportamiento de las partes de un dispositivo o sistema electrónico utilizando para el análisis las condiciones ambientales y el campo de aplicación.

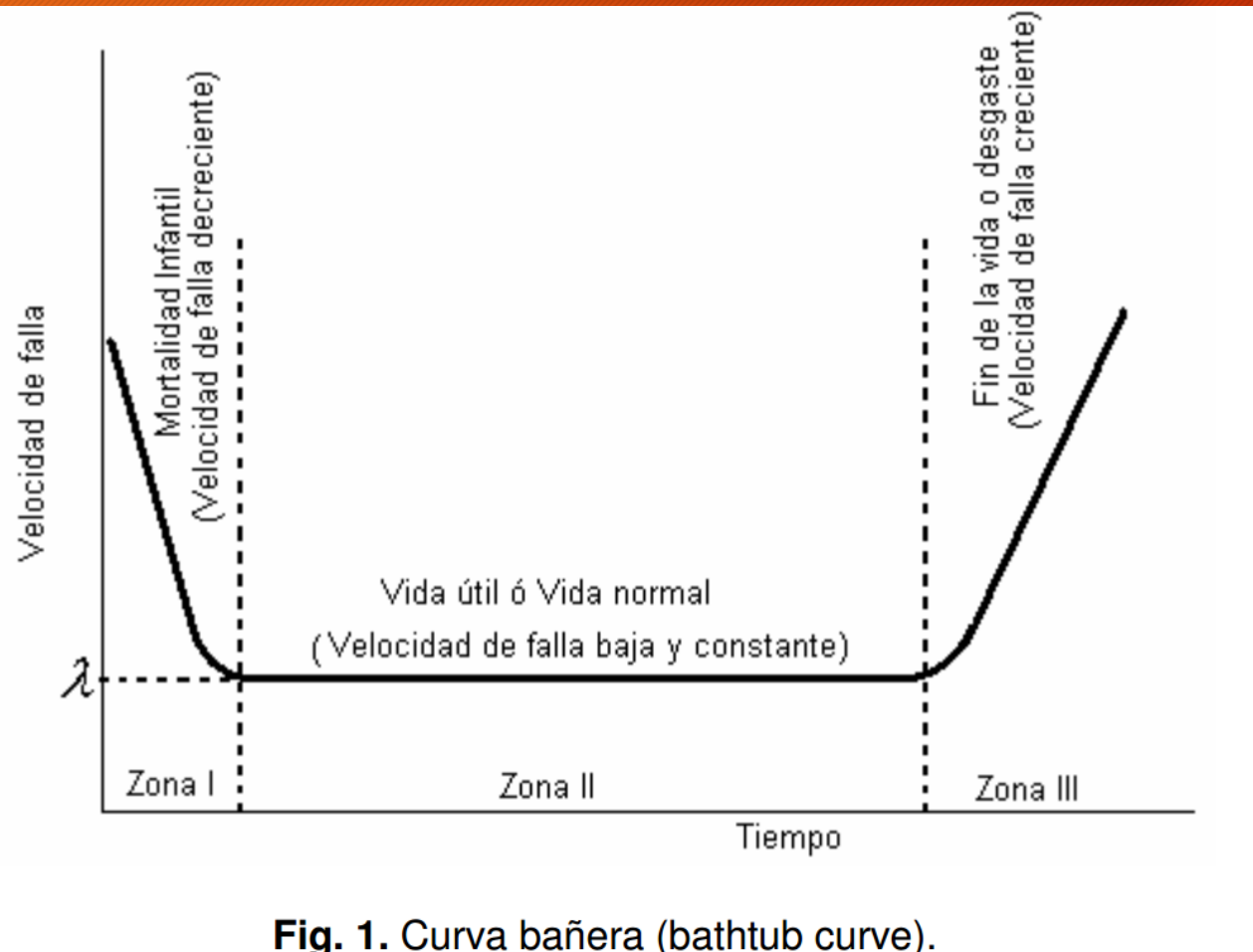
Resultado del Análisis de Confiabilidad

- Determinar la vida útil
- Determinar los eslabones débiles del sistema en la etapa de diseño
 - Cambio de los mismos
 - Cambio en las condiciones de operación
- Mejorar la percepción del usuario al presentar una vida útil mas alta.

Resultado del Análisis de Confiabilidad

- Reducir la logística aplicada a las reparaciones
- Evitar fallas que puedan ser catastróficas en aplicaciones críticas.

Curva de Confiabilidad



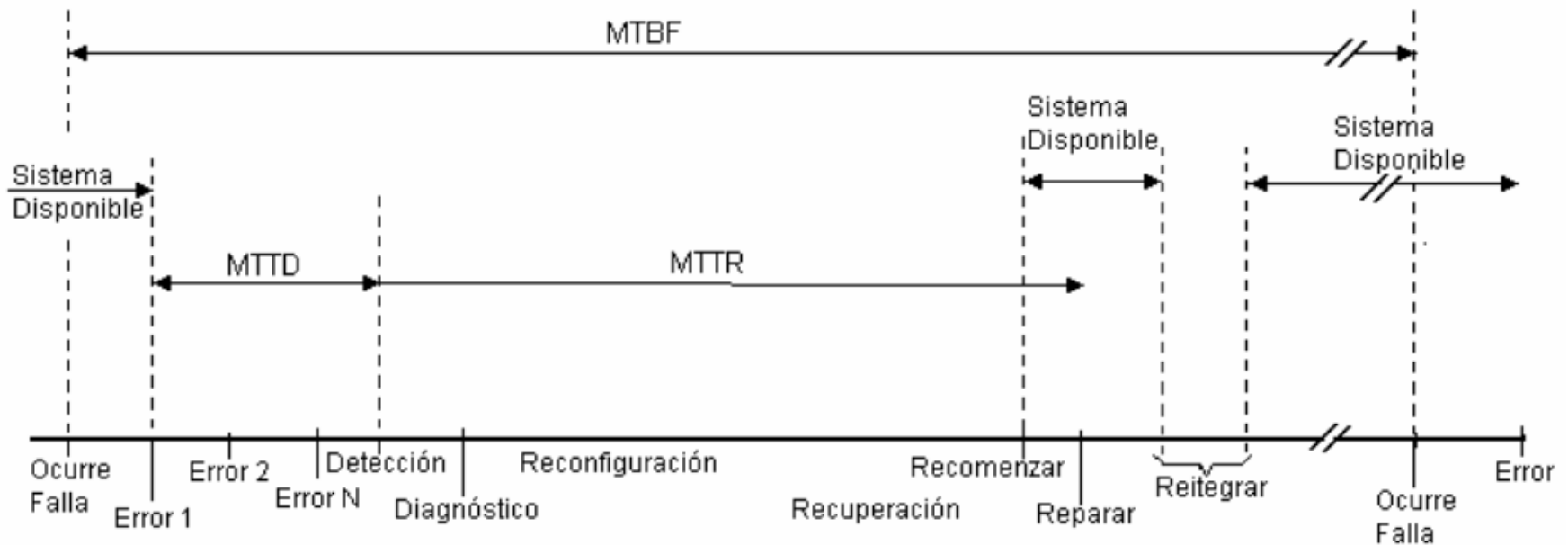
Zonas de Confiabilidad

- Zona I: Mortalidad Infantil
 - Fallas por Defectos en la fabricación.
- Zona II: Etapa de Vida Útil
 - Falla constante debido a defectos aleatorios.
- Zona III: Período de Desgaste
 - Velocidad de falla creciente como resultado del envejecimiento y deterioro de los equipos.

Procesos que modifican la Confiabilidad

- Electromigración
 - La circulación de altas corrientes en películas delgadas puede causar lagunas o montículos.
- Deriva de Parámetros
- Fatigas por Transitorios Eléctricos (ESD)
- Calor Excesivo
- Interferencia Electromagnética (EMI)
- Defectos Mecánicos

Tiempo Medio entre Fallas - MTBF



MTBF: Tiempo medio a la falla
MTTD: Tiempo medio para detectar
MTTR: Tiempo medio para reparar

Consideraciones de Diseño

- Selección de Partes
 - Una Correcta selección permitirá aumentar el MTBF.
- Diseño de circuitos confiables
 - Un diseño SIMPLE es el mas confiables
- Redundancia
- Diseñando teniendo en cuenta el medio ambiente.
- ***Se debe considerar la CONFIABILIDAD desde el momento INICIAL.***

Determinación del MTBF

- Se usa como referencia para el cálculo el MIL-HDBK-217F
 - Permite determinar la confiabilidad de cada componente para avanzar sobre grupos.
 - Permite determinar la confiabilidad del Sistema diseñado usando el método de cuenta partes.

Calculo de Confiabilidad de un Componente

$$\lambda_p = \lambda_b * \pi T * \pi A * \pi R * \pi S * \pi C * \pi Q * \pi E \left[\frac{\text{fallas}}{10^6 \text{ horas}} \right]$$

λ_p Cantidad de Fallas en un millon de horas

λ_b Tasa base de fallas referida a condiciones eléctricas y de temperatura

πT Modificador segun temperatura de juntura del dispositivo

πA Depende de como será utilizado el componente

πR Depende del nivel de potencia disipada respecto del máximo que puede disipar

πS Factor de stress entre voltajes aplicados y los máximos permitidos

πC Depende del método de contruccion

πQ Factor de calidad del componente

πE Factor de aplicación con respecto al ambiente de aplicación

Ejemplos de Cálculo

• EJEMPLO - 1

- Transistor de Potencia en conmutación
- Ciclo de trabajo 30%
- Potencia Máxima 100W
- Aplicación en automóvil
- Temperatura de trabajo 50°C
- Temperatura de Juntura 90°C
- Vceo 200V
- Vceo aplicada 100V
- Frecuencia de Conmutación 100Khz

▶ EJEMPLO - 2

- Transistor de Potencia en conmutación
- Ciclo de trabajo 30%
- Potencia Máxima 100W
- Aplicación en automóvil
- Temperatura de trabajo 50°C
- Temperatura de Juntura 120°C
- Vceo 150V
- Vceo aplicada 100V
- Frecuencia de Conmutación 100Khz

• NOTA: VER SECCION 6.4 PAG 6-6

| | Factor | EJEMPLO 1 | | | EJEMPLO 2 |
|-------------------|----------------|-----------|---------|-------|-----------|
| Transistor | λ_b | NPN | 0.00074 | NPN | 0.00074 |
| Temp. de Juntura | π_T | 90°C | 3.6 | 120°C | 5.6 |
| Aplicación | π_A | | | | |
| Potencia | π_R | | | | |
| Relacion VCEo | π_S | | | | |
| Factor de Calidad | π_Q | | | | |
| Ambiente | π_E | | | | |
| TOTAL | λ_{pt} | | | | |
| horas | | | | | |

$$\lambda_{PT} = \lambda_b * \pi_T * \pi_A * \pi_R * \pi_S * \pi_Q * \pi_E \left[\frac{\text{fallas}}{10^6 \text{ horas}} \right]$$

| Base Failure Rate - λ_b | |
|---------------------------------|-------------|
| Type | λ_b |
| NPN and PNP | .00074 |

| Temperature Factor - π_T | | | |
|------------------------------|---------|------------|---------|
| T_J (°C) | π_T | T_J (°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 (°C)

| | Factor | EJEMPLO 1 | | | EJEMPLO 2 |
|-------------------|----------------|-----------|----------|-----------|-----------|
| Transistor | λ_b | NPN | 0.00074 | NPN | 0.00074 |
| Temp. de Juntura | π_T | 90°C | 3.6 | 120°C | 5.6 |
| Aplicación | π_A | switching | 0.70 | switching | 0.70 |
| Potencia | π_R | 100W | 5.5 | 100W | 5.5 |
| Relacion VCEo | π_S | | 0.29 | | 0.39 |
| Factor de Calidad | π_Q | | 5.5 | | 5.5 |
| Ambiente | π_E | | 9.0 | | 9.0 |
| TOTAL | λ_{pt} | 0.147230 | 0.147230 | | 0.30799 |
| horas | | 6.802.721 | | | 3.247.807 |

$$\lambda_{PT} = \lambda_b * \pi_T * \pi_A * \pi_R * \pi_S * \pi_Q * \pi_E \left[\frac{\text{fallas}}{10^6 \text{ horas}} \right]$$

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

| 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 $\leq .1W$ $\pi_R = (P_r)^{.37}$ Rated Power $> .1W$ | |

| | Factor | EJEMPLO 1 | | | EJEMPLO 2 |
|-------------------|----------------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Transistor | λ_b | NPN | 0.00074 | NPN | 0.00074 |
| Temp. de Juntura | π_T | 90°C | 3.6 | 120°C | 5.6 |
| Aplicación | π_A | switching | 0.70 | switching | 0.70 |
| Potencia | π_R | 100W | 5.5 | 100W | 5.5 |
| Relacion VCEo | π_S | 100/200 | 0.29 | 100/150 | 0.39 |
| Factor de Calidad | π_Q | | | | |
| Ambiente | π_E | | | | |
| TOTAL | λ_{PT} | | | | |
| horas | | | | | |

| Voltage Stress Factor - π_S | |
|--|---------|
| Applied $V_{CE}/\text{Rated } V_{CEO}$ | π_S |
| $0 < V_S \leq .3$ | .11 |
| $.3 < V_S \leq .4$ | .16 |
| $.4 < V_S \leq .5$ | .21 |
| $.5 < V_S \leq .6$ | .29 |
| $.6 < V_S \leq .7$ | .39 |
| $.7 < V_S \leq .8$ | .54 |
| $.8 < V_S \leq .9$ | .73 |
| $.9 < V_S \leq 1.0$ | 1.0 |
| $\pi_S = .045 \exp(3.1(V_S)) \quad (0 < V_S \leq 1.0)$ $V_S = \text{Applied } V_{CE} / \text{Rated } V_{CEO}$ $V_{CE} = \text{Voltage, Collector to Emitter}$ $V_{CEO} = \text{Voltage, Collector to Emitter, Base Open}$ | |

$$\lambda_{PT} = \lambda_b * \pi_T * \pi_A * \pi_R * \pi_S * \pi_Q * \pi_E \left[\frac{\text{fallas}}{10^6 \text{ horas}} \right]$$

| | Factor | EJEMPLO 1 | | | EJEMPLO 2 |
|-------------------|----------------|-----------|---------|-----------|-----------|
| Transistor | λ_b | NPN | 0.00074 | NPN | 0.00074 |
| Temp. de Juntura | πT | 90°C | 3.6 | 120°C | 5.6 |
| Aplicación | πA | switching | 0.70 | switching | 0.70 |
| Potencia | πR | 100W | 5.5 | 100W | 5.5 |
| Relacion VCEo | πS | 100/200 | 0.29 | 100/150 | 0.39 |
| Factor de Calidad | πQ | LOWER | 5.5 | LOWER | 5.5 |
| Ambiente | πE | GM | 9.0 | GM | 9.0 |
| TOTAL | λ_{pt} | | 0.14723 | | 0.30799 |
| horas | | 6.802.721 | | 3.247.807 | |

| Quality Factor - π_Q | |
|--------------------------|---------|
| Quality | π_Q |
| JANTXV | .70 |
| JANTX | 1.0 |
| JAN | 2.4 |
| Lower | 5.5 |
| Plastic | 8.0 |

| Environment Factor - π_E | |
|------------------------------|---------|
| Environment | π_E |
| G_B | 1.0 |
| G_F | 6.0 |
| G_M | 9.0 |
| N_S | 9.0 |
| N_U | 19 |
| A_{IC} | 13 |
| A_{IF} | 29 |
| A_{UC} | 20 |
| A_{UF} | 43 |
| A_{RW} | 24 |
| S_F | .50 |
| M_F | 14 |
| M_L | 32 |
| C_L | 320 |

$$\lambda_{PT} = \lambda_b * \pi T * \pi A * \pi R * \pi S * \pi Q * \pi E \left[\frac{\text{fallas}}{10^6 \text{ horas}} \right]$$

Confiabilidad combinando ambos componentes

| | Ejemplo 1 | Ejemplo 2 |
|-------------------|---|--------------------------|
| Transistor | 0.00074 | 0.00074 |
| Temp. de Juntura | 3.6 | 5.6 |
| Aplicación | 0.70 | 0.70 |
| Potencia | 5.5 | 5.5 |
| Relacion VCEo | 0.29 | 0.39 |
| Factor de Calidad | 5.5 | 5.5 |
| Ambiente | 9.0 | 9.0 |
| TOTAL Individual | $\Lambda_{p1} = 0.147230$ | $\Lambda_{p2} = 0.30799$ |
| Total Sistema | $\Lambda_{p1} + \Lambda_{p2} = 0.45522$ | |
| Total Sistema | 2.196.740 horas | |

Método de Cuenta Partes

- En este método se analiza el ámbito de aplicación y la calidad del componente.
- El resultado final tendrá en cuenta todos los componentes del sistema.

$$\lambda_{Pequi} = \sum_{i=1}^n i N_i * (\lambda_g * \pi_Q)_i$$

Método de Cuenta Partes

$$\lambda_{Pequi} = \sum_{i=1}^n N_i * (\lambda_g * \pi_Q)$$

- λ_{Pequi} = probabilidad de falla equipo
- λ_g = Tasa de falla de parte genérica
- π_Q = Factor de calidad parte genérica
- N_i = Cantidad de partes genéricas
- n = Cantidad de distintas partes genéricas

Generic Failure Rate - λ_g (Failures/ 10^6 Hours) for Discrete Semiconductors

| Section # | Part Type | Env. \rightarrow $T_J (^{\circ}\text{C}) \rightarrow$ | G_B 50 | G_F 60 | G_M 65 | N_S 60 | N_U 65 | A_{IC} 75 | A_{IF} 75 | A_{UC} 90 | A_{UF} 90 | A_{FW} 75 | S_F 50 | M_F 65 | M_L 75 | C_L 60 |
|-----------|---|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | DIODES | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | General Purpose Analog | | .0036 | .028 | .049 | .043 | .10 | .092 | .21 | .20 | .44 | .17 | .0018 | .076 | .23 | 1.5 |
| 6.1 | Switching | | .00094 | .0075 | .013 | .011 | .027 | .024 | .054 | .054 | .12 | .045 | .00047 | .020 | .060 | .40 |
| 6.1 | Fast Recovery Pwr. Rectifier | | .065 | .52 | .89 | .78 | 1.9 | 1.7 | 3.7 | 3.7 | 8.0 | 3.1 | .032 | 1.4 | 4.1 | 28 |
| 6.1 | Power Rectifier/ Schottky Pwr. | | .0028 | .022 | .039 | .034 | .082 | .073 | .16 | .16 | .35 | .13 | .0014 | .060 | .18 | 1.2 |
| 6.1 | Transient Suppressor/Varistor | | .0029 | .023 | .040 | .035 | .084 | .075 | .17 | .17 | .36 | .14 | .0015 | .062 | .18 | 1.2 |
| 6.1 | Voltage Ref/Reg. (Avalanche and Zener) | | .0033 | .024 | .039 | .035 | .082 | .066 | .15 | .13 | .27 | .12 | .0016 | .060 | .16 | 1.3 |
| 6.1 | Current Regulator | | .0056 | .040 | .066 | .060 | .14 | .11 | .25 | .22 | .46 | .21 | .0028 | .10 | .28 | 2.1 |
| 6.2 | Si Impatt ($f \leq 35$ GHz) | | .86 | 2.8 | 8.9 | 5.6 | 20 | 11 | 14 | 36 | 62 | 44 | .43 | 18 | 67 | 350 |
| 6.2 | Gunn/Bulk Effect | | .31 | .76 | 2.1 | 1.5 | 4.6 | 2.0 | 2.5 | 4.5 | 7.6 | 7.9 | .16 | 3.7 | 12 | 94 |
| 6.2 | Tunnel and Back | | .004 | .0096 | .0026 | .0019 | .058 | .025 | .032 | .057 | .097 | .10 | .002 | .048 | .15 | 1.2 |
| 6.2 | PIN | | .028 | .068 | .19 | .14 | .41 | .18 | .22 | .40 | .69 | .71 | .014 | .34 | 1.1 | 8.5 |
| 6.2 | Schottky Barrier and Point Contact (200 MHz $\leq f \leq 35$ GHz) | | .047 | .11 | .31 | .23 | .68 | .30 | .37 | .67 | 1.1 | 1.2 | .023 | .58 | 1.8 | 14 |
| 6.2 | Varactor | | .0043 | .010 | .029 | .021 | .063 | .028 | .034 | .062 | .11 | .11 | .0022 | .052 | .17 | 1.3 |
| 6.10 | Thyristor/SCR | | .0025 | .020 | .034 | .030 | .072 | .064 | .14 | .14 | .31 | .12 | .0012 | .053 | .16 | 1.1 |
| | TRANSISTORS | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6.3 | NPN/PNP ($f < 200$ MHz) | | .00015 | .0011 | .0017 | .0017 | .0037 | .0030 | .0067 | .0060 | .013 | .0056 | .000073 | .0027 | .0074 | .056 |
| 6.3 | Power NPN/PNP ($f < 200$ MHz) | | .0057 | .042 | .069 | .063 | .15 | .12 | .26 | .23 | .50 | .22 | .0029 | .11 | .29 | 2.2 |
| 6.4 | Si FET ($f \leq 400$ MHz) | | .014 | .099 | .16 | .15 | .34 | .28 | .62 | .53 | 1.1 | .51 | .0069 | .25 | .68 | 5.3 |
| 6.9 | Si FET ($f > 400$ MHz) | | .099 | .24 | .64 | .47 | 1.4 | .61 | .76 | 1.3 | 2.3 | 2.4 | .049 | 1.2 | 3.6 | 30 |
| 6.8 | GaAs FET ($P < 100$ mW) | | .17 | .51 | 1.5 | 1.0 | 3.4 | 1.8 | 2.3 | 5.4 | 9.2 | 7.2 | .083 | 2.8 | 11 | 63 |
| 6.8 | GaAs FET ($P \geq 100$ mW) | | .42 | 1.3 | 3.9 | 2.5 | 8.5 | 4.5 | 5.6 | 13 | 23 | 18 | .21 | 6.9 | 27 | 160 |
| 6.5 | Unijunction | | .016 | .12 | .20 | .18 | .42 | .36 | .80 | .74 | 1.6 | .66 | .0079 | .31 | .88 | 6.4 |
| 6.6 | RF, Low Noise ($f > 200$ MHz, $P < 1$ W) | | .094 | .23 | .63 | .46 | 1.4 | .60 | .75 | 1.3 | 2.3 | 2.4 | .047 | 1.1 | 3.6 | 28 |
| 6.7 | RF, Power ($P \geq 1$ W) | | .074 | .15 | .37 | .29 | .81 | .29 | .37 | .52 | .88 | .037 | .33 | .68 | 1.8 | 18 |

Generic Failure Rate - λ_g (Failures/ 10^6 Hours) for Discrete Semiconductors

| Section # | Part Type | Env. \rightarrow $T_J (^{\circ}\text{C}) \rightarrow$ | G_B 50 | G_F 60 | G_M 65 | N_S 60 | N_U 65 | A_{IC} 75 | A_{IF} 75 | A_{UC} 90 | A_{UF} 90 | A_{FW} 75 | S 5 |
|-------------|--------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------|
| DIODES | | | | | | | | | | | | | |
| 6.1 | General Purpose Analog | | .0036 | .028 | .049 | .043 | .10 | .092 | .21 | .20 | .44 | .17 | .00 |
| 6.1 | Switching | | .00094 | .0075 | .013 | .011 | .027 | .024 | .054 | .054 | .12 | .045 | .00 |
| 6.1 | Fast Recovery Pwr. Rectifier | | .065 | .52 | .89 | .78 | 1.9 | 1.7 | 3.7 | 3.7 | 8.0 | 3.1 | .00 |
| 6.1 | Power Rectifier/ Schottky Pwr. | | .0028 | .022 | .039 | .034 | .082 | .073 | .16 | .16 | .35 | .13 | .00 |
| 6.1 | Transient Suppressor/Varistor | | .0029 | .023 | .040 | .035 | .084 | .075 | .17 | .17 | .36 | .14 | .00 |
| 6.1 | Voltage Ref/Reg. (Avalanche | | .0033 | .024 | .039 | .035 | .082 | .066 | .15 | .13 | .27 | .12 | .00 |
| TRANSISTORS | | | | | | | | | | | | | |
| 6.3 | NPN/PNP ($f < 200$ MHz) | | .00015 | .0011 | .0017 | .0017 | .0037 | .0030 | .0067 | .0060 | .013 | .0056 | .000 |
| 6.3 | Power NPN/PNP ($f < 200$ MHz) | | .0057 | .042 | .069 | .063 | .15 | .12 | .26 | .23 | .50 | .22 | .00 |
| 6.4 | Si FET ($f \leq 400$ MHz) | | .014 | .099 | .16 | .15 | .34 | .28 | .62 | .53 | 1.1 | .51 | .00 |
| 6.9 | Si FET ($f > 400$ MHz) | | .099 | .24 | .64 | .47 | 1.4 | .64 | 2.8 | 1.8 | 5.0 | 2.1 | .00 |

Quality Factor - π_Q

| Quality | π_Q |
|---------|---------|
| JANTXV | .70 |
| JANTX | 1.0 |
| JAN | 2.4 |
| Lower | 5.5 |
| Plastic | 8.0 |

Cuenta Partes

$$\lambda_{Pequi} = 1 * (0.069 * 5.5) = 0,3795 [Fallas / 10^6 \text{ horas}]$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{Pequi}} = \frac{1}{0,3795} = 2.635.046 \text{ horas}$$

- MTBF para el análisis de un solo transistor.
- Se considera que todos los componentes del mismo tipo tienen la misma probabilidad de fallas.
- Es mayor la probabilidad de falla obtenido por este método.

Comparativa de Análisis de Confiabilidad del Sistema

- Cuenta Partes

$$\lambda_{Pequi} = 2 * (0.069 * 5.5) = 0,759 [Fallas / 10^6 \text{ horas}]$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{Pequi}} = \frac{1}{0,759} = 1.317.523 \text{ horas}$$

- Análisis Stress por Partes

$$\lambda_{PT} = 0.45522 [Fallas / 10^6 \text{ horas}]$$

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_{PT}} = \frac{1}{0,45522} = 2.196.740 \text{ horas}$$

Comparativa Componentes

1N4148

- Calidad LOWER
- Costo: 0.016 USD
- $\lambda_p = 0.827 \times 10^{-6}$ hr



JANTXV1N4148

- Calidad JANTXV
- Costo: 22USD
- $\lambda_p = 0.105 \times 10^{-6}$ hr

Qualified Levels:
JAN, JANTX, and
JANTXV

