

Tecnología Electrónica

Ingeniería en Electrónica

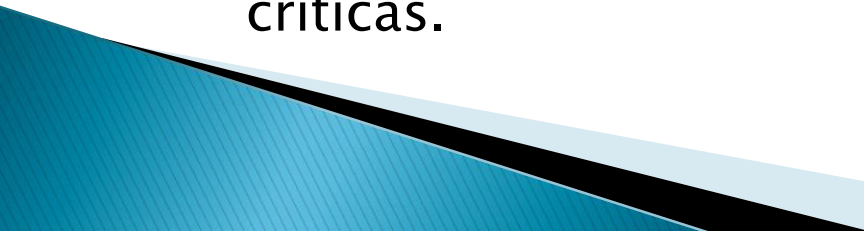
Universidad Tecnológica Nacional
Facultad Regional Córdoba

Unidad 1

- ▶ CONFIABILIDAD – ANALISIS DE FALLA
 - OBJETIVO
 - 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.

Confiabilidad

► Resultado del Análisis

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

Etapas de Análisis

- ▶ Cálculo del tiempo medio entre fallas MTBF (Medium Time Between Failures)
 - Usamos como referencia para el cálculo el MIL-HDBK-217F
 - Cálculo de la confiabilidad de cada componente o grupo de ellos
 - Sistema de cálculo por la Cuenta de partes
- ▶ Modos de fallas y análisis crítico
- ▶ Análisis preliminar de peligro
- ▶ Análisis de falla peligrosa

Confiabilidad –Componente

► Calculo de la 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 junta del dispositivo

πA Dependende como será utilizado el componente

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

πS Factor de stress entre voltajes aplicados y los máximos permitidos

πC Dependende del método de construcción

πQ Factor de calidad del componente

πE Factor de aplicación con respecto al ambiente de aplicación

Confiabilidad –Componente

▶ EJEMPLO – 1

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

Confiabilidad –Componente

	Factor	EJEMPLO 1	EJEMPLO 2
Transistor	λ_b	0.00074	0.00074
Temp. de Juntura	π_T	3.6	5.6
Aplicación	π_A	0.70	0.70
Potencia	π_R	5.5	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	0.30799
horas		6.802.721	3.247.807

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)

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

Confiabilidad –Componente

	Factor	EJEMPLO 1	EJEMPLO 2
Transistor	λ_b	0.00074	0.00074
Temp. de Juntura	πT	3.6	5.6
Aplicación	πA	0.70	0.70
Potencia	πR	5.5	5.5
Relacion VCEo	πS	0.29	0.39
Factor de Calidad	πQ	5.5	5.5
Ambiente	πE	9.0	9.0
TOTAL	λ_{pt}	0.147230	0.30799
horas		6.802.721	3.247.807

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 $> .1W$	

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

Confiabilidad –Componente

	Factor	EJEMPLO 1	EJEMPLO 2
Transistor	λ_b	0.00074	0.00074
Temp. de Juntura	πT	3.6	5.6
Aplicación	πA	0.70	0.70
Potencia	πR	5.5	5.5
Relacion VCEo	πS	0.29	0.39
Factor de Calidad	πQ	5.5	5.5
Ambiente	πE	9.0	9.0
TOTAL	λ_{pt}	0.147230	0.30799
horas		6.802.721	3.247.807

Voltage Stress Factor - π_S

Applied V_{CE} /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

π_S	=	$.045 \exp(3.1(V_S))$	$(0 < V_S \leq 1.0)$
V_S	=	Applied V_{CE} / Rated V_{CEO}	
V_{CE}	=	Voltage, Collector to Emitter	
V_{CEO}	=	Voltage, Collector to Emitter, Base Open	

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

Confiabilidad –Componente

	Factor	EJEMPLO 1	EJEMPLO 2
Transistor	λ_b	0.00074	0.00074
Temp. de Juntura	πT	3.6	5.6
Aplicación	πA	0.70	0.70
Potencia	πR	5.5	5.5
Relacion VCEo	πS	0.29	0.39
Factor de Calidad	πQ	5.5	5.5
Ambiente	πE	9.0	9.0
TOTAL	λ_{pt}	0.147230	0.30799
horas		6.802.721	3.247.807

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

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

Confiabilidad –Componente

	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	

Cuenta Partes

- ▶ Sistema de cálculo por la Cuenta de 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.

$$\lambda_{Pequi} = \sum_1^n i N_i * (\lambda_g * \pi_Q) i$$

Cuenta Partes

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

- 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

Cuenta Partes

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

Section #	Part Type	Env. \rightarrow T_J ($^{\circ}\text{C}$) \rightarrow 50	G_B 60	G_F 65	G_M 60	N_S 65	N_U 85	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	.062	.073	.16	.16	.35	.13	.0014	.080	.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	.56	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	.66	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
	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	.0
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 and Zener)		.0033	.024	.039	.035	.082	.066	.15	.13	.27	.12	.00
6.1	Current Regulator		.0058	.040	.066	.060	.14	.11	.25	.22	.46	.21	.00
6.2	SI Impatt ($f \leq 35$ GHz)		.86	2.8	8.9	5.6	20	11	14	36	62	44	.4
6.2	Gunn/Bulk Effect		.31	.76	2.1	1.5	4.6	2.0	2.5	4.5	7.6	7.9	.1
6.2	Tunnel and Back		.004	.0096	.0028	.0019	.058	.025	.032	.057	.097	.10	.0
6.2	PIN		.028	.068	.19	.14	.41	.18	.22	.40	.69	.71	.0
6.2	Schottky Barrier and Point Contact ($200 \text{ MHz} \leq f \leq 35 \text{ GHz}$)		.047	.11	.31	.23	.68	.30	.37	.67	1.1	1.2	.0
6.2	Varactor		.0043	.010	.029	.021	.063	.028	.034	.062	.11	.11	.00
6.10	Thyristor/SCR		.0025	.020	.034	.030	.072	.064	.14	.14	.31	.12	.00
	TRANSISTORS												
6.3	NPN/PNP ($f < 200 \text{ MHz}$)		.00015	.0011	.0017	.0017	.0037	.0030	.0067	.0060	.013	.0056	.000
6.3	Power NPN/PNP ($f < 200 \text{ MHz}$)		.0057	.042	.069	.063	.15	.12	.26	.23	.50	.22	.00
6.4	SI FET ($f \leq 400 \text{ MHz}$)		.014	.099	.16	.15	.34	.28	.62	.53	1.1	.51	.00
6.9	SI FET ($f > 400 \text{ MHz}$)		.000	.24	.64	.47	1.4	.64	.75	1.5	3.1	1.5	.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.



Modo de falla

- ▶ Análisis del modo de fallas y sus efectos (FMEA – Failure Mode And Effects Analysis)
 - En este método se analizan los posible modos en que puede fallar el dispositivo y cual será el impacto en el circuito.
 - Podemos usar MIL-HDBK-338.

Modo de falla

- ▶ Ejemplo transistor bipolar
 - Transistor OPEN $\rightarrow 0.27$
 - Transistor SHORT $\rightarrow 0.73$

DEVICE TYPE	FAILURE MODE	MODE PROBABILITY (α)
Transducer	Out of Tolerance	.68
	False Response	.15
	Open	.12
	Short	.05
Transformer	Open	.42
	Short	.42
	Parameter Change	.16
Transistor, Bipolar	Short	.73
	Open	.27
Transistor, FET	Short	.51
	Output Low	.22
	Parameter Change	.17
	Open	.05
	Output High	.05
Transistor, GaAs FET	Open	.61
	Short	.26
	Parameter Change	.13
Transistor, R.F.	Parameter Change	.50
	Short	.40

Modo de falla

- ▶ Ejemplo transistor bipolar
 - Transistor OPEN $\rightarrow 0.27$
 - Transistor SHORT $\rightarrow 0.73$
 - Y el factor de tiempo de falla antes calculado

$$\lambda_{Po} = 0.147 * 0.27 = 0.03969 \left[\text{Fallas} / 10^6 \text{ horas} \right]$$

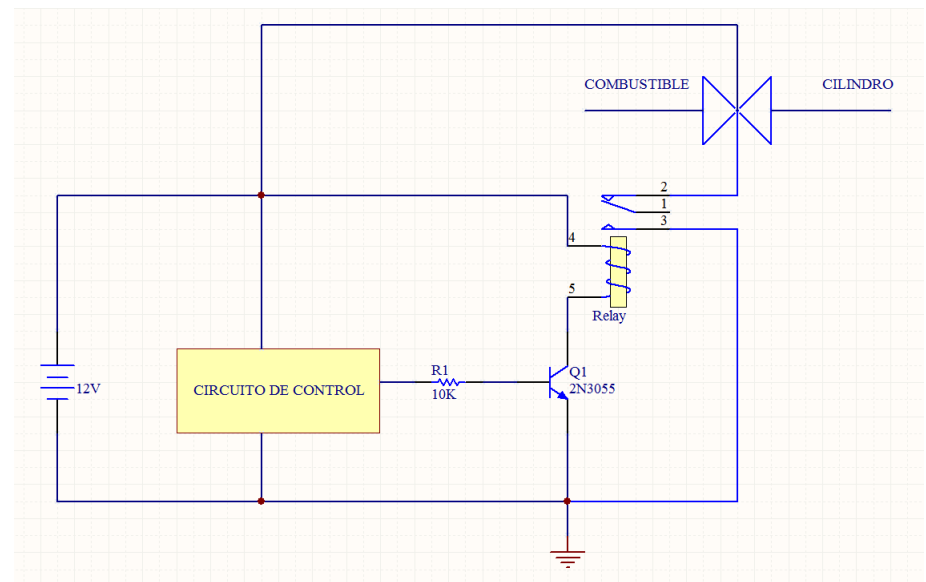
$$\lambda_{Ps} = 0.147 * 0.73 = 0.10731 \left[\text{Fallas} / 10^6 \text{ horas} \right]$$

- Se observa que la probabilidad de falla disminuye
- Se debe analizar el circuito para determinar los efectos ante algunas de las dos posibles fallas.

Falla y Avería

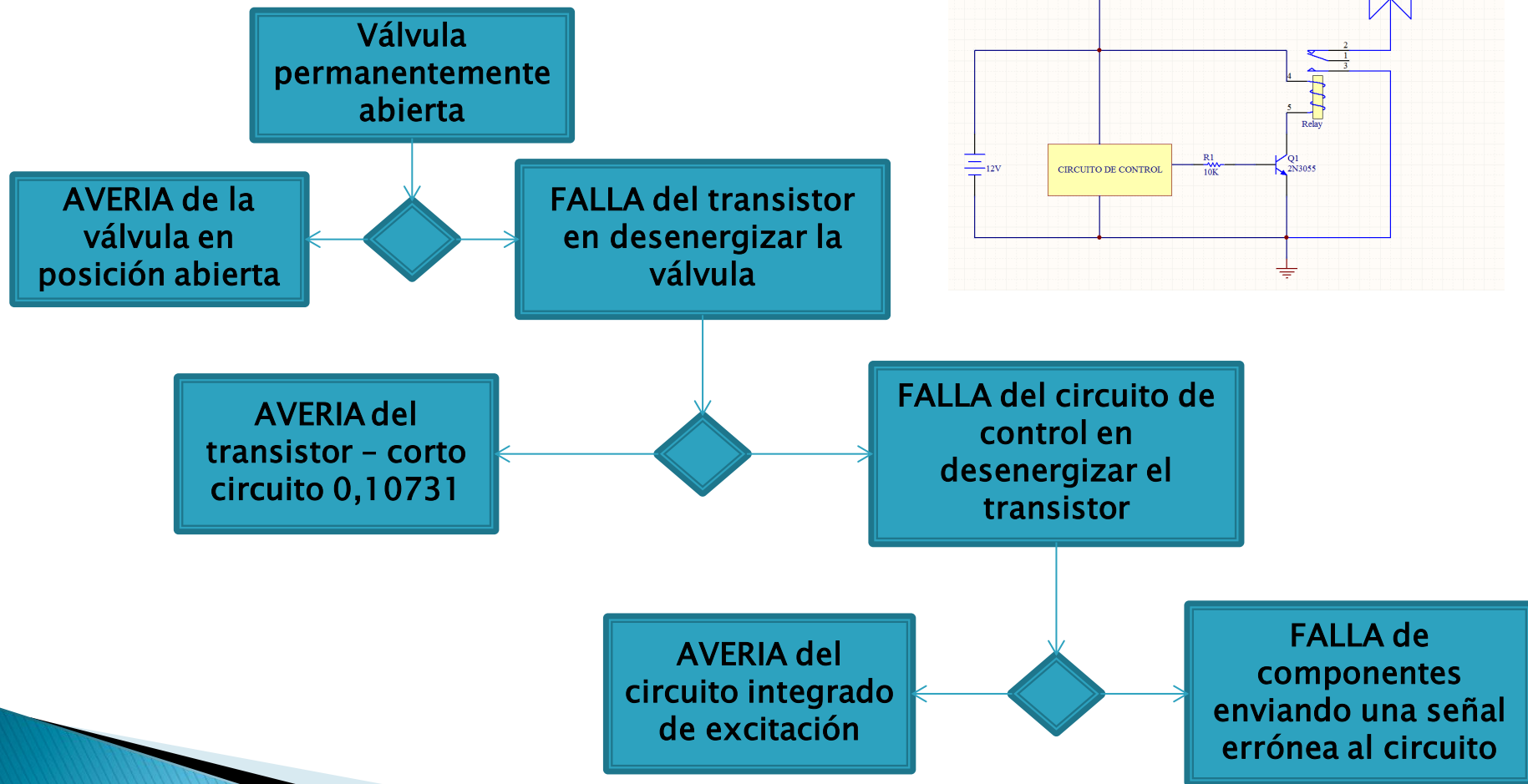
► Falla y Avería

- Del análisis del circuito tendremos dos posibles caminos
 - Falla → El transistor no fue excitado
 - Avería → Se dañó el componente



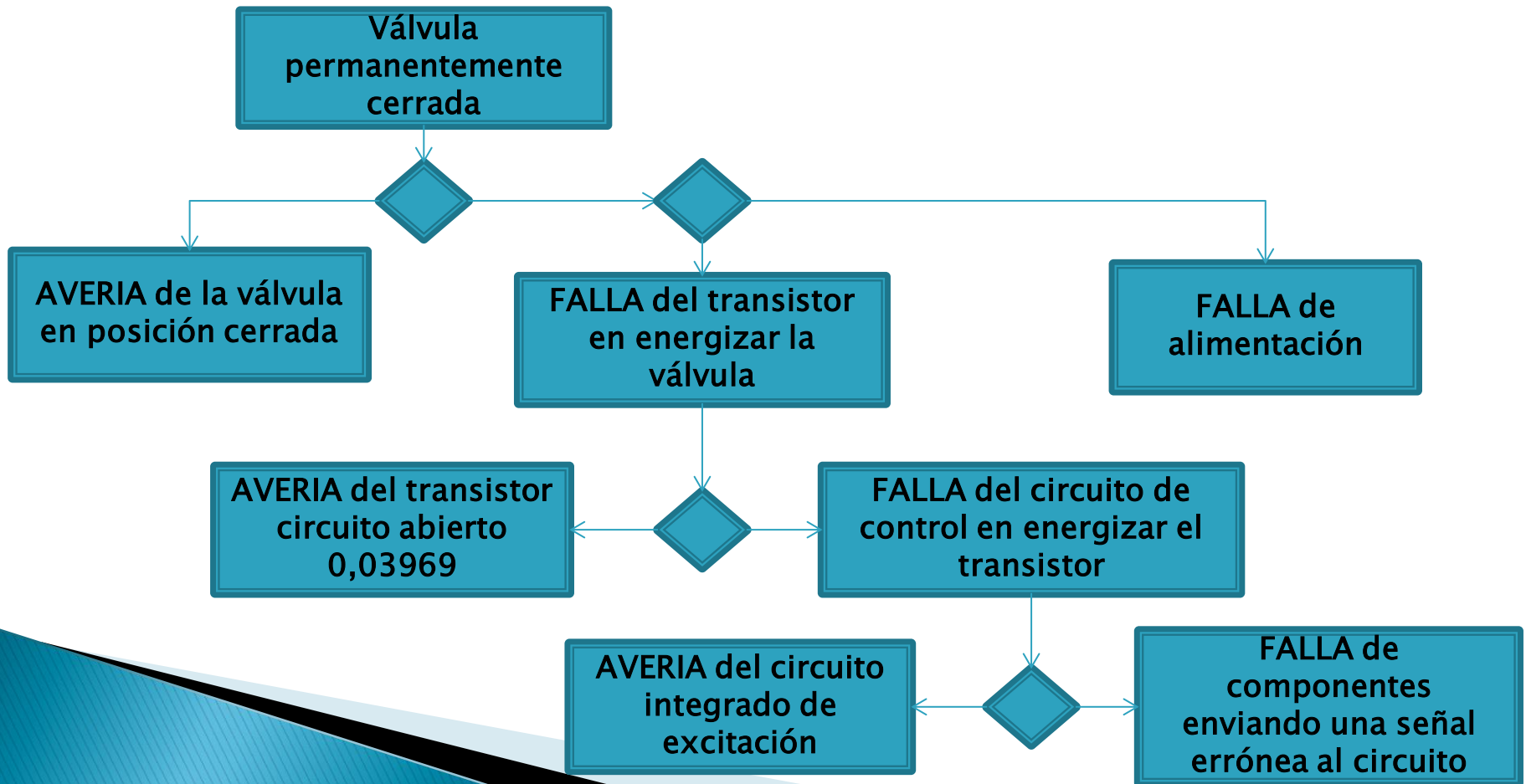
Falla y Avería

- ▶ Ejemplo – Control Inyector Electrónico Automóvil
- ▶ VALVULA ABIERTA



Falla y Avería

- ▶ Ejemplo – Control Inyector Electrónico Automóvil
- ▶ VALVULA CERRADA



Modo de falla y Análisis crítico (FMECA)

- ▶ En este análisis se pretende determinar si un componente puede provocar una falla que sea catastrófica, la probabilidad de esa falla y la tolerancia a las mismas.
- ▶ La realización de un estudio FMECA permite identificar aquellos componentes críticos en los que debe enfatizarse el mantenimiento, o que deben ser objeto de rediseño.
- ▶ Por medio de este módulo se podrán realizar:
 - Evaluación de los Modos de Fallo del sistema
 - Evaluación de las Causas de Fallo
 - Análisis de los Efectos de la aparición de los Modos de Fallo.
 - Este análisis se hará a varios niveles: **componente, equipo y sistema.**
 - Asignación de la Severidad de cada uno de los Modos de Fallo
 - Asignación de Parámetros de Riesgo asociados al fallo
 - Asignación de la Probabilidad de Ocurrencia del fallo
 - Cálculo de la Criticidad del fallo
 - Determinación de los componentes críticos del sistema.

Modo de falla y Análisis crítico (FMECA – Failure mode, effects, and criticality analysis)

- ▶ Este método se basa en fallas que en principio podrían ser las siguientes:
 - Operación Anticipada
 - Falla a operar en determinado tiempo
 - Operación intermitente
 - Falla en cesar una función en tiempo determinado
 - Pérdida o degradación durante la operación.

Propagación de una falla

- ▶ Cuando se evalúa un sistema podemos dividir al mismo en niveles.
- ▶ Esta división nos permitiría clasificar el efecto de una falla sobre un determinado sistema.
- ▶ En base a esto existirán
 - Efectos Locales o Primarios
 - Nivel Superior Siguiente o Efectos Secundarios
 - Función del Sistema o Efectos Finales

Clasificación de Falla

- ▶ Se pueden analizar las fallas desde dos puntos de vista:
- ▶ Severidad
 - Se evalúa teniendo en cuenta las peores consecuencias que se pueden dar ante una falla.
- ▶ Probabilidad de Aparición
 - Es el análisis en base a la probabilidad de su ocurrencia. Tiene como base el análisis MTBF y FMEA.

Severidad

- ▶ Podemos establecer cuatro categorías:
- ▶ **Categoría I → Catastrófico**
 - Una falla que puede causar la pérdida total del sistema.
- ▶ **Categoría II → Importante**
 - Una falla que puede causar lesiones graves, importantes daños materiales o daños en el sistema principal que traduzca en la pérdida de la misión.
- ▶ **Categoría III → Marginal**
 - Puede causar lesiones leves, de menor importancia, daños materiales, que se traducirían en un retraso o pérdida de disponibilidad del sistema.
- ▶ **Categoría IV → Menor**
 - Falla mínima que solo provocaría la necesidad de un mantenimiento o reparación programada.
- ▶ La determinación de la categoría será en base a lo que se desea proteger:
 - Personas, ambiente, producción.
 - Por lo tanto el rango que define cada intervalo será propio del sistema evaluado.

Probabilidad de Ocurrencia

- ▶ Podemos establecer cinco categorías:
- ▶ **Nivel A → Frecuente**
 - Probabilidad Superior a 0,20
- ▶ **Nivel B → Razonablemente Probable**
 - Probabilidad Mayor a 0,10 y menor a 0,20
- ▶ **Nivel C → Ocasional**
 - Probabilidad Mayor a 0,01 y menor a 0,10
- ▶ **Nivel D → Remota**
 - Probabilidad Mayor a 0,001 y menor a 0,01
- ▶ **Nivel E → Improbable**
 - Probabilidad menor a 0,001

Relación entre categoría y nivel de una falla

- ▶ Se debe ver sobre la gráfica adjunta la relación entre ocurrencia y severidad para hacer los ajustes correspondientes.
 - Para una falla **Categoría I** el nivel de falla debiera ser **Nivel E**
- ▶ De este análisis surgen los rediseños del sistema.

Número crítico del modo de falla

- ▶ El numero crítico de falla determina por si mismo la peligrosidad de un modo de falla determinado

$$Cm = \beta * \alpha * \lambda_p * t$$

- ▶ Donde
 - α = probabilidad de modo de falla.
 - (Open-Short)
 - β = probabilidad de pérdida de función
 - Tabla adjunta
 - λ = probabilidad de falla total – MBTF
 - t = tiempo de funcionamiento requerido

Número crítico del modo de falla

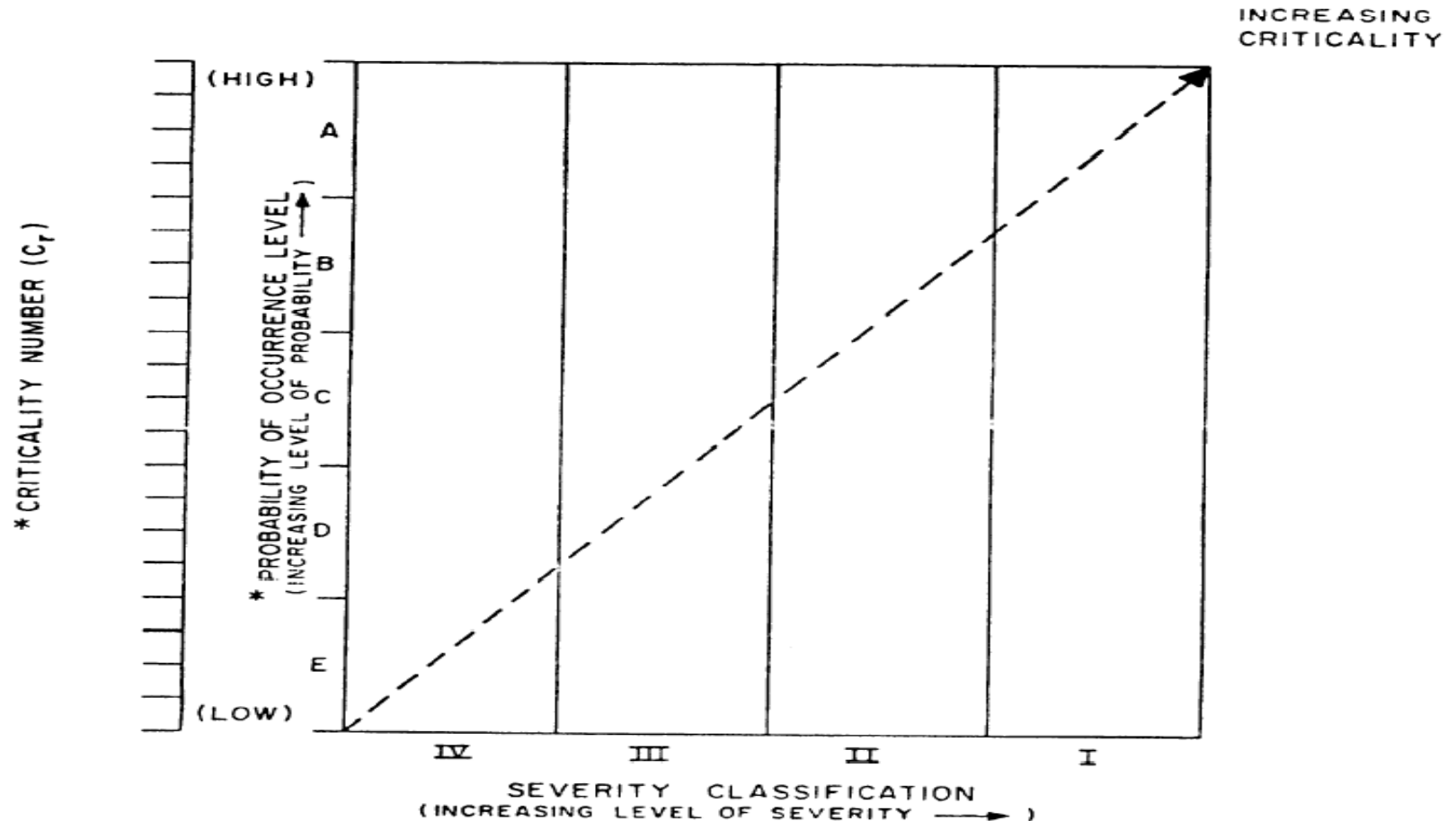
- β = probabilidad de pérdida de función

EFFECTO DE FALLA	VALOR de β
PERDIDA SEGURA	1.00
PROBABLE PERDIDA	>0.10 a <1.00
POSIBLE PERDIDA	>0 a <0.10
SIN EFECTO	0

Matriz Crítica

PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	Nivel A				PEOR CASO
	Nivel B				
	Nivel C				
	Nivel D				
	Nivel E	MEJOR CASO			
		Categoría IV	Categoría III	Categoría II	Categoría I
		SEVERIDAD			

Matriz Crítica



* NOTE: BOTH CRITICALITY NUMBER (C_r) AND PROBABILITY OF OCCURRENCE LEVEL ARE SHOWN FOR CONVENIENCE.