

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
FACULTAD REGIONAL DE CÓRDOBA

Trabajo Práctico N°1
Cálculo de confiabilidad de sistemas electrónicos

Navarro, Facundo 63809
Veron, Misael 62628

Curso: 5r2

Cátedra: Tecnología Electrónica

Docentes:
Ing. Centeno, Carlos
Ing. Gonzalez Dondo, Diego

11 de noviembre de 2019

Índice

1. Introducción	2
2. Circuito a analizar	2
2.1. Lista de Componentes	2
3. Norma MIL-HDBK-217F	3
3.1. Análisis por Stress	3
3.1.1. Diodo 1N4148	3
3.1.2. Transistor Bipolar MMBT5551	3
3.1.3. Optoacoplador Pc817c	3
3.1.4. Relé Electromecánico SRD-05VDC-SL	3
3.1.5. LED SMD VLMW11R2S2	4
3.1.6. Resistores	4
3.1.7. Capacitores	4
3.1.8. Microcontrolador 16F886	4
3.1.9. Cristal de Cuarzo	4
3.1.10. Regulador de Tensión LM7805	4
3.1.11. λ_{pT} del sistema	5
3.2. Análisis por cuenta partes	5
4. Norma MIL-HDBK-338	6
4.1. Análisis del modo de fallas y sus efectos (FMEA)	6
4.1.1. Tabla de análisis FMEA	6
4.2. Análisis del Árbol de Fallas (FTA)	7
4.3. Análisis Crítico de Modo de Fallas (FMECA)	8
4.3.1. Matriz de Criticidad	10
4.4. Conclusiones	10

1. Introducción

En términos de la teoría de administración de recursos, la estadística tiene un papel fundamental, los modelos probabilísticos aplicados a grandes muestras tienden a "suavizar" las variaciones individuales por lo que el resultado final es lo suficientemente simple y preciso para el análisis de diseño, lo que constituye una importante herramienta para el fabricante para lanzar un producto mas robusto con mejor imagen comercial, minimiza los costos de garantía y reduce considerablemente la necesidad de retirar un producto del mercado para su re diseño, lo que se traduce en una reducción de tiempo y costos.

En caso de artículos utilizados en sistemas críticos es necesario para que el sistema presente el menor número de fallas posibles, llegando al punto que tener una doble falla sea virtualmente imposible.

En el diseño de cualquier circuito electrónico se debería realizar un previo cálculo de confiabilidad, ya que de esta manera se pone en evidencia las debilidades y fortalezas del mismo. En el siguiente informe se realizará el análisis sobre un circuito utilizando las normas de dos handbook militares, el HDBK-MIL-217 y el HDBK-MIL-338B, teniendo la ventaja que no se requiere tener el dispositivo construido, permitiendo un análisis preventivo.

2. Circuito a analizar

Se eligió el shield de relés de Arduino, el cual es controlado por un microcontrolador de la marca PIC, el modelo 16F886, el conjunto del PIC con el shield se utilizará para el control autónomo de la luminaria de una vivienda, el sistema se encuentra fijo, sin ser sometido a ningún tipo de vibración, en un ambiente estable y expuesto a una temperatura de entre 24°C y 30°C, a continuación se presenta el esquemático:

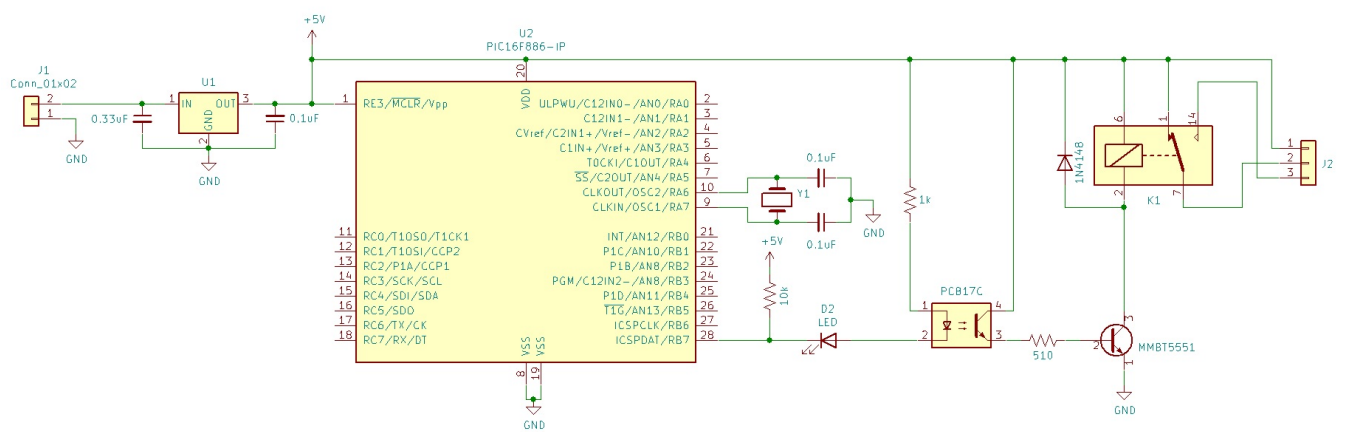


Figura 1: Esquemático del circuito a analizar

2.1. Lista de Componentes

Se presenta la lista de componentes que procederemos a analizar secciones mas adelante:

Dispositivo	Cantidad
Capacitor 0,1 uF	3
Capacitor 0,33 uF	1
Regulador de tensión LM7805	1
Microcontrolador 16F886	1
Cristal	1
Resistencias SMD	3
Diodo LED	1
Diodo 1N4148	1
Optoacoplador PC817C	1
Relé electromecánico	1

3. Norma MIL-HDBK-217F

El propósito de este manual es establecer y mantener métodos consistentes y uniformes para estimar la confiabilidad inherente de equipos y sistemas electrónicos militares. Bajo esta norma se establece el tiempo medio entre fallas (MTBF) de dos maneras diferentes, primero se hace el cálculo con respecto al *análisis por stress* el cual tiene en cuenta numerosos parámetros que afectan la vida útil de los componentes, dando como resultado una aproximación mas acertada a la vida útil global, y luego se emplea el método de *cuenta partes* el cual necesita menos información pero tiene la ventaja que es mas generalizado y de mas rápida elaboración.

3.1. Análisis por Stress

El método de análisis por stress de la pieza se usa la mayoría del tiempo y es aplicable cuando el diseño está casi terminado y hay una lista detallada de piezas, o BOM, además de la disponibilidad del stress de los componentes. Por stress de componentes, la norma se refiere a las condiciones de operación reales, como el ambiente, la temperatura, la tensión, la corriente y los niveles de potencia aplicados, por ejemplo. El estándar MIL-217 agrupa componentes o partes por categorías principales y luego tiene subgrupos dentro de las categorías. Cada componente o categoría de pieza y sus subgrupos tienen una fórmula o modelo único aplicado para calcular la tasa de falla de ese componente o pieza.

Se desarrollaran cada uno de los componentes, teniendo en cuenta a qué grupo pertenece y su respectiva fórmula para obtener la probabilidad de falla λ_P cuya unidad es fallas con respecto a un millón de horas. Con este calculado se procede a calcular el tiempo medio entre fallas o tiempo medio de vida (MTFB) de acuerdo a la siguiente ecuación 1, la cual aplica tanto para elementos individuales o sistemas.

$$MTFB = \frac{1}{\lambda_P} [Hs] \quad (1)$$

3.1.1. Diodo 1N4148

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_Q \cdot \pi_C \cdot \pi_S$$

Modelo	λ_b	π_T	π_Q	π_C	π_S	λ_P
1N4148	0,013	32	8,0	1	0,054	2.2464×10^{-3}

3.1.2. Transistor Bipolar MMBT5551

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_A \cdot \pi_R \cdot \pi_S \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Modelo	λ_b	π_T	π_A	π_R	π_S	π_Q	π_E	λ_P
MMBT5551	0,00074	8,1	0,70	0,43	0,00142	1,0	5,5	1.409×10^{-5}

3.1.3. Optoacoplador Pc817c

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Modelo	λ_b	π_T	π_Q	π_E	λ_P
PC817C	0,013	6,3	5,5	1,0	0,45

3.1.4. Relé Electromecánico SRD-05VDC-SL

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_L \cdot \pi_C \cdot \pi_{CYC} \cdot \pi_F \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Modelo	λ_b	π_L	π_C	π_{CYC}	π_F	π_Q	π_E	λ_P
SRD-05VDC-SL	0,0061	0,7	1,75	1,0	1,5	8	2,0	0,17

3.1.5. LED SMD VLMW11R2S2

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_T \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Modelo	λ_b	π_T	π_Q	π_E	λ_P
VLMW11R2S2	0,00023	5,3	5,5	1,0	6.7045×10^{-3}

3.1.6. Resistores

Se calcula de la siguiente manera:

Modelo	λ_b	π_R	π_Q	π_E	λ_P
1 k Ω	0,00022	1,0	15	1,0	3.3×10^{-3}
10 k Ω	0,00022	1,0	15	1,0	3.3×10^{-3}
510 Ω	0,00031	1,0	15	1,0	4.65×10^{-3}

3.1.7. Capacitores

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_{Cv} \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Modelo	λ_b	π_{Cv}	π_Q	π_E	λ_P
0,33 μ F	0,00097	0,29	7,0	1,0	1.96×10^{-3}
0,1 μ F	0,00097	0,259	7,0	1,0	1.75×10^{-3}

3.1.8. Microcontrolador 16F886

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = (C_1 \cdot \pi_T + C_2 \cdot \pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L$$

Modelo	C_1	π_T	C_2	π_E	π_Q	π_L	λ_P
16F886	0,14	5,5	0,0014	0,5	1	1,0	0,7707

3.1.9. Cristal de Cuarzo

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = \lambda_b \cdot \pi_Q \cdot \pi_E$$

Modelo	λ_b	π_Q	π_E	λ_P
8Mhz	0,022	2,1	1,0	0,0462

3.1.10. Regulador de Tensión LM7805

Se calcula de la siguiente manera:

$$\lambda_P = (C_1 \cdot \pi_T + C_2 \cdot \pi_E) \cdot \pi_Q \cdot \pi_L$$

Modelo	C_1	π_T	C_2	π_E	π_Q	π_L	λ_P
LM7805	0,010	180	0,00027	0,5	0,25	1,0	0,0453375

3.1.11. λ_{pT} del sistema

A partir de cada λ_P se puede obtener el λ_{pT} del sistema mediante la sumatoria de cada uno de ellos multiplicado por un factor n correspondiente a la cantidad de veces que se repite, de modo que:

$$\begin{aligned}\lambda_{pT} &= \lambda_{C0,33uF} + 3 \cdot \lambda_{C0,1uF} + \lambda_{LM7805} + \lambda_{Crystal} + \lambda_{16F886} + \lambda_{R10k} + \\ &\quad \lambda_{R1k} + \lambda_{R510} + \lambda_{1N4148} + \lambda_{rele} + \lambda_{BJT} + \lambda_{optoacoplador} + \lambda_{LED} \\ \lambda_{pT} &= 1,85437049\end{aligned}$$

Quedando finalmente como vida media:

$$\begin{aligned}MTBF|_{Sistema} &= \frac{10^6}{\lambda_{pT}} \\ &= \frac{10^6}{1,85437049} \\ &= 39266,5626 [Hs] \\ &= 22469,44 [Dias] \\ MTBF|_{Sistema} &= 615,60 [Años]\end{aligned}$$

Esto indica que nuestro circuito tiene una vida media de aproximadamente 62 años, puede durar más o menos, pero nos da la certeza que la probabilidad de falla de la mayoría de nuestros circuitos oscilará en un período de 62 años.

3.2. Análisis por cuenta partes

El método de análisis de cuentas partes requiere menos información, tal como cantidades de piezas, nivel de calidad y entorno de aplicación. Es más aplicable durante las fases iniciales de diseño o propuesta de un proyecto.

El estándar MIL-217 proporciona tablas para los grupos de componentes (los mismos grupos que el análisis por stress) que enumeran las tasas de falla y los factores de calidad genéricos para los diferentes entornos MIL-217.

El análisis de recuento de piezas no tiene en cuenta las numerosas variables y utiliza las tasas de falla genéricas o de base más desfavorables y los factores π . El Método de cuenta de partes generalmente resultará en una mayor tasa de fallas o en una menor confiabilidad del sistema, lo que brinda un resultado más conservador que el que generaría el método de stress.

Para este cálculo se utiliza la siguiente ecuación:

$$\lambda_{Pequip} = \sum_1^n iN_i \cdot (\lambda_g \cdot \pi Q) i \quad (2)$$

Componentes	N_i	λ_g	πQ	λ_p	MTBF [Hs]
LM7805	1	0,0036	0,25	9×10^{-4}	2205979,625
Capacitor cerámico	4	0,0036	10	0,144	69444444,44
Cristal Cuarzo	1	0,0032	2,1	6.32×10^{-3}	1488095238
Microcontrolador	1	0,048	0,25	0,012	83333333,3
Resistencia carbon	3	0,0019	10	0,057	175438596,5
LED	1	0,00047	5,5	2.5855×10^{-3}	3868471954
Optoacoplador	1	0,027	5,5	0,1485	67340067,34
BJT	1	0,00015	5,5	8.25×10^{-4}	1.21×10^{10}
Rele	1	0,13	9,0	1,17	8547008,547
Diodo 1N4148	1	0,0029	5,5	0,01595	626959247,6
λ_{Pequi}				1,5580805	6418453,619

como previamente se hizo con la ecuación 1,

$$\begin{aligned}MTBF|_{Sistema} &= \frac{10^6}{\lambda_{Pequi}} \\ &= \frac{10^6}{1,5580805} \\ &= 6418453,619 [Hs] \\ &= 267423,06 [Dias] \\ MTBF|_{Sistema} &= 732,66 [Años]\end{aligned}$$

Aquí se pone en evidencia lo antes expuesto, la vida media difiere ya que los métodos consideran distintas variables, siendo el análisis por stress el más fidedigno, ya que considera mayor cantidad de aspectos reales, aunque para ser un sistema tentativo el método por cuenta partes cumple su función, en nuestro caso expone la longevidad del correcto funcionamiento de nuestro circuito.

4. Norma MIL-HDBK-338

4.1. Análisis del modo de fallas y sus efectos (FMEA)

El FMEA se define como un procedimiento de confiabilidad en el cual se describe cada falla posible y su efecto en el desempeño final del sistema. Es un análisis a nivel de componente, donde para efectuarse se debe considerar cada falla como la única falla en el sistema. En base al objetivo por el que se busca brindar mayor confiabilidad o seguridad en aquello que se busca proteger, se determina la probabilidad de pérdida de función β , según el siguiente criterio:

Efecto de falla	β
Perdida segura	1
Perdida probable	>0.1 a <1
Posible pérdida	>0 a <0.1
Sin efecto	0

4.1.1. Tabla de análisis FMEA

Item	Modos de falla	Efecto de la falla	β
Diodo <i>1n4148</i>	Short	Aumento I_{C2} No activa Relay	1
	Open	No elimina transistores	0.1
	Cambio de parámetros	Puede Quemarse	0.1
LED	Short	Cambio de corriente entrada al optoacoplador	0.1
	Open	No activa optoacoplador	1
Relay	Fails to trip	No activa salida	1
	Spurious trip	No activa salida	1
	Short	No activa salida	1
Resistencia $1k\Omega$	Short	Posible exceso de corriente de entrada opto	1
	Open	No activa salida	1
	Cambio parámetros	Cambia corriente y tensión de entrada de optoacoplador	1
Resistencia 510Ω	Short	Posible exceso de I_{B2}	0.1
	Open	No saturación transistor	1
	Cambio de parámetros	Posible exceso de I_{B2}	0.1
Resistencia $10k\Omega$	Short	Posible pérdida de puerto de salida microcontrolador	1
	Open		0
	Cambio de parámetros	Posible ruido	0.1
Transistor bipolar	Open	No saturación salida	1
	Short	Posible activación de relay	0.1
Optoacoplador	Open	No activa salida	1
	Short	Salida siempre en encendida	1

<i>Item</i>	<i>Modos de falla</i>	<i>Efecto de la falla</i>	β
Regulador de voltaje (7805)	Open	No activa circuito	1
	Short	Perdida del sistema	1
	Cambio de parámetros	Posible falla del sistema	0.1
Capacitores C_1 y C_2	Open	7805 no estable	0.1
	Short	7805 no estable	0.1
	Cambio de parámetros	7805 no estable	0.1
Capacitores C_3 y C_4	Open	Oscilador no estable	1
	Short	Oscilador	1
	Cambio de parámetros	Oscilador	1
Cristal	Output depraded	Incorrecto funcionamiento de microcontrolador	1
	No output	No funcionamiento de microcontrolador	1
	Fails to run after start	No funcionamiento de microcontrolador	1
	Loss of control	No funcionamiento de microcontrolador	1
PIC Microcontrolador digital CMOS	Input open	Posible mal funcionamiento	0.1
	Output open	No activa salida	1
	Supply open	No activa salida	1
	Output stay low	No activa salida	1
	Output stay high	Incorrecta activación salida	1

4.2. Análisis del Árbol de Fallas (FTA)

Es un procedimiento de confiabilidad donde se analiza a partir desde cada falla posible a la salida del sistema y se procede a identificar sus causas hacia los componentes del sistema. Es un análisis a nivel de sistema, el cuál se realiza mediante un diagrama de bloques de falla/avería, identificando la falla principal del sistema y se la relaciona en orden descendente con las posibles causas, las cuales pueden ser la avería de algún componente o alguna falla previa.

Para el circuito bajo estudio, se presentaran dos situaciones de fallos, la primera es la que la salida se mantiene en alto y la segunda es el caso contrario, las salidas permanecen en bajo.

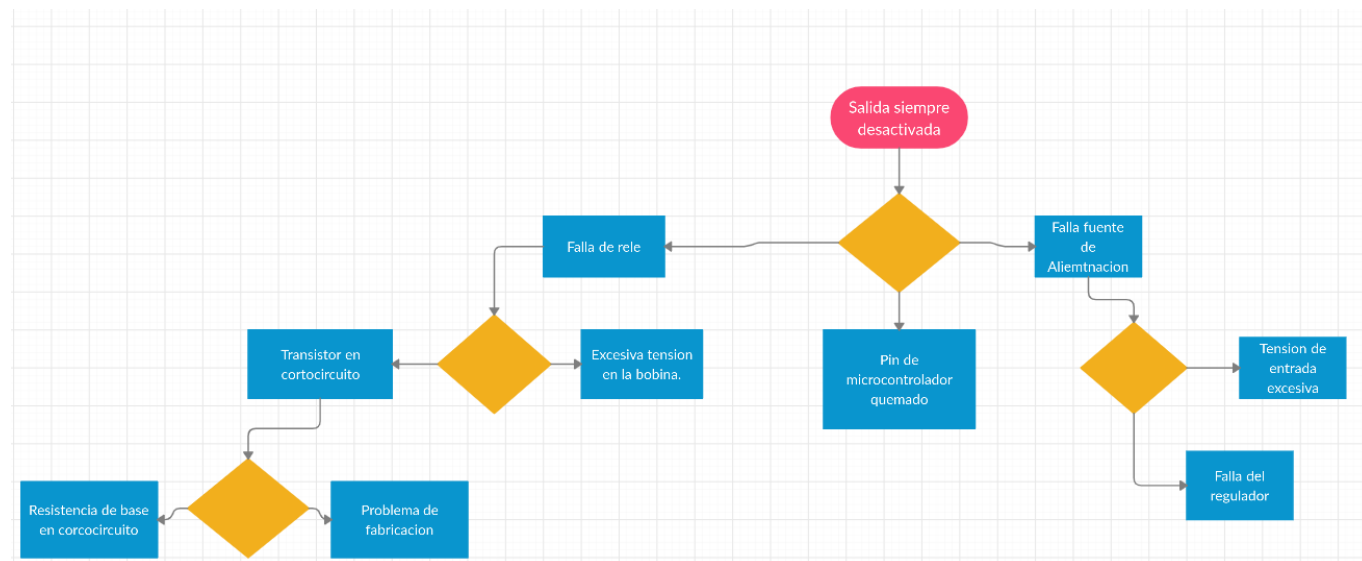


Figura 2: Salida siempre desactivada

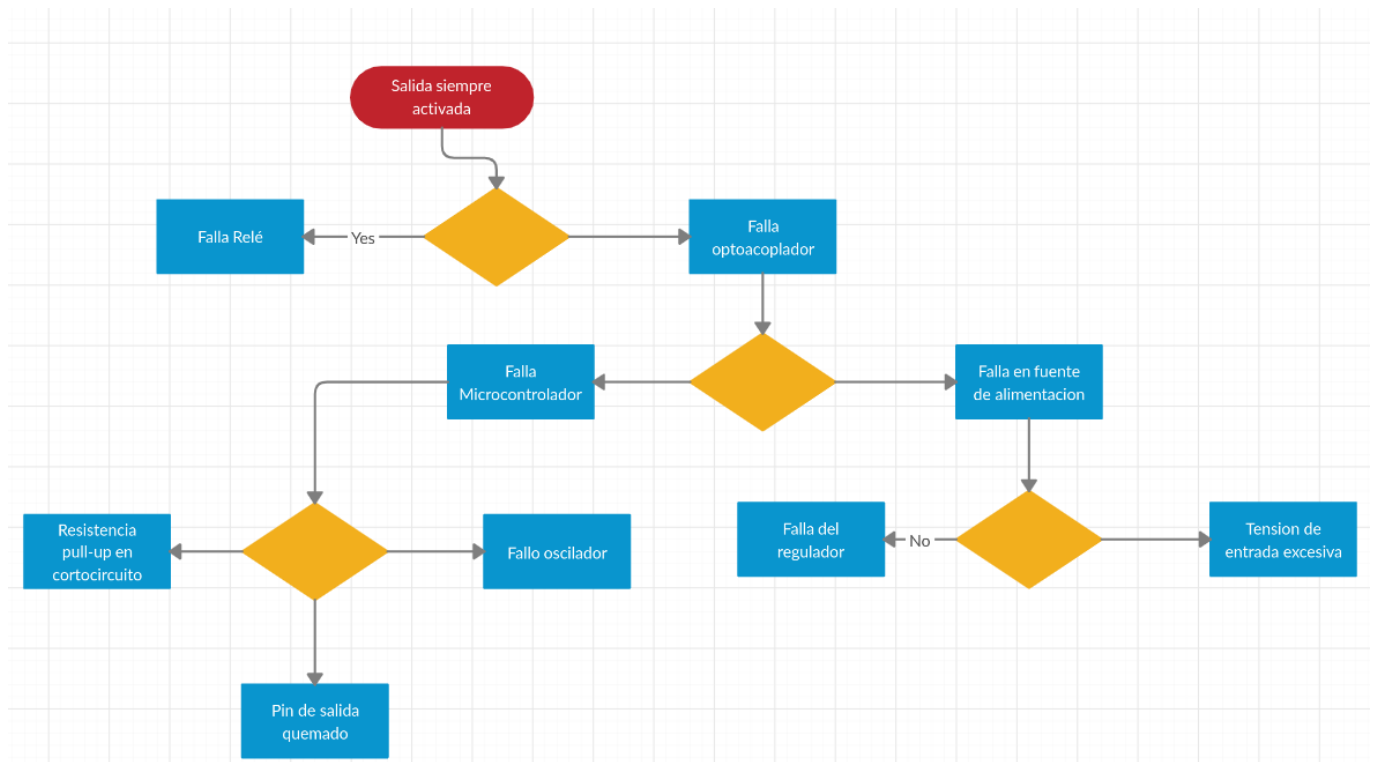


Figura 3: Salida siempre activada

4.3. Análisis Crítico de Modo de Fallas (FMECA)

Procedimiento de confiabilidad donde, a partir del FMEA, se jerarquiza cada falla según categorías de efecto de falla y probabilidad de ocurrencia. De esta manera se identifican los puntos simples de falla que resultan críticos para lograr un diseño confiable o para crear seguridad. Esto último se debe interpretar en relación a lo que se está buscando proteger, ya sea al usuario, medio ambiente, un sistema previo, etc.

Este análisis se basa en:

- Determinar el numero critico de modo de falla C_m , el cual viene dado por la siguiente ecuación:

$$C_m = \beta \cdot \alpha \cdot \lambda_p \cdot t \quad (3)$$

Donde cada coeficiente es:

- β : Probabilidad de pérdida de función.
- α : Probabilidad de modo de falla.
- λ_p : probabilidad de falla total.
- t : tiempo de funcionamiento requerido.

- A partir de este se puede determinar la criticidad total del sistema como:

$$C_{TOTAL} = \sum c_m \quad (4)$$

- Determinar el numero critico de cada item C_T como:

$$C_r = \sum_{n=1}^j (C_m)_n \quad (5)$$

Siendo j el numero de modos de fallas del item o componente.

- Clasificar a cada modo de falla en base a la categoría de gravedad, según lo que se busca proteger, y probabilidad de ocurrencia según los siguientes criterios:

<i>Criterio de gravedad</i>	<i>Tipo</i>
I	Catastrófico
II	Importante
II	Marginal
IV	Menor

<i>Probabilidad de ocurrencia</i>	<i>Frecuencia</i>
Nivel A	Frecuente
Nivel B	Razonablemente probable
Nivel C	Ocasional
Nivel D	Remota
Nivel E	Improbable

- Construir una matriz de criticidad, en base a los números críticos, categoría de gravedad y probabilidad de ocurrencia.

A continuación se muestran los resultados del análisis del FMECA correspondiente al circuito.

Componente	Prob. modo de falla α	Prob. pérdida de funcion β	Prob. falla de componente λ_p	$\frac{C_m}{10^6}$ $\frac{fallas}{\lambda_p}$	$\frac{C_r}{10^6}$ $\frac{fallas}{\lambda_p}$	Severidad	Prob de ocurrencia
Regulador 7805	Open (0.45)	1	0.453	0.204	0.4536	IV	B
	Change parameter (0.35)	0.1		0.159		III	B
	Short (0.20)	1		0.0906		II	C
C_1 (0.3 uF)	Open (0.22)	0.1	1.96×10^{-3}	4.321×10^{-5}	1.952×10^{-4}	III	E
	Short (0.49)	0.1		9.6×10^{-5}		IV	E
	Change parameter (0.29)	0.1		5.6×10^{-5}		IV	E
C_2, C_3, C_4 (0.1 uF)	Open (0.22)	1	1.75×10^{-3}	3.85×10^{-4}	17.49×10^{-4}	IV	E
	Short (0.49)	1		8.57×10^{-4}		IV	E
	Change parameter (0.29)	1		5.07×10^{-4}		IV	E
Cristal	Output deperated (0.6)	1	0.0462	0.027	0.0453	III	C
	No output (0.22)	1		0.01		III	C
	Fails to run (0.09)	1		4.158×10^{-3}		III	D
	Loss of control (0.09)	1		4.158×10^{-3}		IV	D
PIC Microcontrolador digital CMOS	Input open (0.36)	0.1	0.7707	0.277	0.774	IV	A
	Output open (0.36)	1		0.277		III	A
	Supply open (0.12)	1		0.09		III	C
	Output stack low (0.09)	1		0.069		III	C
	Output stay high (0.08)	1		0.061		III	C
R_1 10kΩ	Open (0.66)	1	3.3×10^{-3}	2.17×10^{-3}	3.269	IV	D
	Short (0.1)	0.1		1×10^{-3}		IV	D
	Change parameter (0.03)	1		$9.9 \times 10^{0.5}$		IV	E
R_2 1kΩ	Open (0.31)	1	3.3×10^{-3}	1×10^{-3}	3.269	III	D
	Short (0.03)	1		$9.9 \times 10^{0.5}$		II	E
	Change parameter (0.66)	1		2.17×10^{-3}		IV	D
R_3 510Ω	Open (0.66)	0.1	4.65×10^{-3}	3.06×10^{-3}	5.895×10^{-3}	III	D
	Short (0.31)	1		1.44×10^{-3}		IV	D
	Change parameter (0.03)	0.1		1.395×10^{-3}		II	D
LED	Open (0.7)	1	6.7×10^{-3}	4.69×10^{-3}	6.1×10^{-3}	III	D
	Short (0.3)	0.1		2.01×10^{-3}		III	D
Optoacoplador	Open (0.27)	1	0.45	0.1215	0.45	III	B
	Short (0.73)	1		0.3285		III	A
BJT	Open (0.27)	1	1.4×10^{-5}	3.78×10^{-6}	3.8822×10^{-6}	III	E
	Short (0.73)	0.1		1.022×10^{-5}		III	E
Relay	Fails to trip (0.55)	1	0.17	0.0935	0.17	IV	C
	Spurious trip (0.29)	1		0.0442		IV	C
	Short (0.19)	1		0.323		IV	A
1n4146	Open (0.51)	0.1	2.24×10^{-3}	1.14×10^{-3}	2.22×10^{-3}	IV	D
	Short (0.29)	1		6.49×10^{-4}		III	E
	Change parameter (0.2)	0.1		4.4×10^{-4}		IV	E

4.3.1. Matriz de Criticidad

imagenes/matriz.png

Figura 4: Matriz de criticidad

4.4. Conclusiones

- El objetivo de estos análisis es estimar la vida útil de sistemas electrónicos a diseñar/realizar y poder tener una estimación de su calidad, puntos débiles en el diseño y tiempo entre reparaciones, y si es un producto comercial garantizar un periodo de funcionamiento al cliente.
- El análisis por cuenta partes es mucho mas sencillo y rápido de realizar que el análisis por estrés, quedando el primero relegado solo a una fase de diseño a desarrollar, es útil para tener una estimación temprana de si el diseño cumple con los requerimientos impuestos, ya sea por el diseñador o la que especifique la norma que aplica al sistema.

- Tanto el árbol de fallas como la matriz de criticidad son métodos muy útiles, ya que con simples gráficos se pueden saber las posibles fallas y sus correspondientes causas, y los eslabones críticos del circuito electrónico, respectivamente. Son dos gráficos que sus informaciones se corresponden, ya que los mayores causantes de las principales fallas los generan los dispositivos más probables a fallar.
- Se corroboró la importancia a nivel práctica profesional de estos análisis. Desde un pequeño circuito como podría ser el elegido en este trabajo práctico hasta en grandes fabricas, como por ejemplo, en una linea robotizada, son necesarios los cálculos de confiabilidad. De esta manera se tiene información de qué puede fallar, en cuánto tiempo y por sobretodo actuar ante estas fallas.