

C.N.E. . Biblioteca	
ARCHIVO PUBLICACIONES	
Nº 1	AÑO 1982

ANALISIS DE LA CONFIABILIDAD DEL EQUIPO COMPARADOR MOD. CNEA 073

José Luis ROCA

Comisión Nacional de Energía Atómica

Gerencia de Desarrollo

Dpto. Instrumentación y Control

Introducción:

Se trata de analizar la confiabilidad del módulo Comparador CNEA 073. El mismo posee tres comparadores en un solo circuito impreso. Dos comparadores por alto nivel y uno por bajo nivel. El presente estudio se basa en el comparador por alto nivel cuyo circuito se observa en la Fig.1, etendiéndose sistemáticamente a los dos restantes.

Definición de Estados de Falla:

Las acciones que puede tomar el comparador son de dos tipos: Normal y Anormal. Si no se tiene en cuenta, en primera aproximación la histéresis que presenta el circuito, llamando "ed" a la tensión de disparo y "e" la tensión de entrada al comparador, se tiene:

$$\begin{array}{l}
 \text{Acción Normal} \left\{ \begin{array}{l} e < ed; \text{ relé accionado.} \\ e \geq ed; \text{ relé no accionado.} \end{array} \right. \\
 \\
 \text{Acción Anormal} \left\{ \begin{array}{l} \left. \begin{array}{l} e < ed; \text{ relé no accionado} \\ e \geq ed; \text{ relé no accionado} \end{array} \right\} \text{Fs} \\ \left. \begin{array}{l} e < ed; \text{ relé accionado} \\ e \geq ed; \text{ relé accionado} \end{array} \right\} \text{Fi} \\ e < ed; \text{ relé no accionado} \\ e \geq ed; \text{ relé accionado} \end{array} \right.
 \end{array}$$

Bajo acción anormal el dispositivo presenta dos estados de falla, con riesgo (también llamado inseguro) "Fi" y sin riesgo (también llamado seguro) "Fs". La primera no es detectable inmediatamente sino a través de tests o pruebas periódicas, sobre todo cuando ese dispositivo se encuentra trabajando en lógicas redundantes. La segunda es detectable inmediatamente pues se evidencia por si misma (led apagado en el frente del equipo). En consecuencia el comparador reaccionará en la siguiente forma ante la presencia de alguno de los dos modos de falla mencionados. Si la falla es del tipo sin riesgo, el relé de salida se desacciona (normalmente abierto) y queda en ese estado independientemente del valor de la tensión "e" de entrada al comparador. Si la falla es del tipo con riesgo, el relé queda accionado (tomado) siempre indepen-

///

dientemente del valor de la tensión "e" de entrada al comparador.

Consideraciones sobre el ciclo de histéresis:

Siendo el equivalente a una división del dial 500 mv de tensión de entrada y dadas las tolerancias para el ciclo de histéresis. Se tiene, de acuerdo a la Fig.2:

$0,1 \pm 0,05$ divisiones en el sentido del disparo de la alarma.

$0,5 \pm 0,05$ divisiones en el sentido opuesto.

El ancho del ciclo de histéresis será:

$50 \text{ mv} \pm 25 \text{ mv}$ en el sentido del disparo de la alarma.

$250 \text{ mv} \pm 25 \text{ mv}$ en el sentido opuesto.

La zona rayada de la Fig.2 es la prohibida de trabajo. Es decir los corrimientos del ciclo de histéresis mayores que estos límites ($\pm 25 \text{ mv}$) originaran también un tipo de falla no detectable inmediatamente por lo cual a las fallas de este tipo se las ha incluido en el conjunto de fallas con riesgo (Fi).

Análisis y modos de falla del dispositivo:

Para ello se ha tomado el circuito comparador por alto nivel, como base, analizando los modos de falla de cada componente (mas probables) y evaluando los efectos sobre la salida del equipo (Fi o Fs).

Predicción de la confiabilidad:

Las hipótesis tomadas en cuenta en el cálculo de tasas de fallas de componentes son las siguientes:

- H.1.- Se ha utilizado como base al comparador por alto nivel.
- H.2.- La fuente de datos de tasas de fallas ha sido la norma MIL-HDBK-217B/74 en su nivel de calidad mas bajo (comercial).
- H.3.- El factor ambiental utilizado ha sido G_B (ground-benign); lo que implica que el equipo será operado y mantenido por personal competente.
- H.4.- Se ha utilizado la Sección 2 de la norma MIL-HDBK-217B/74 "Parts Stress Analysis Prediction".
- H.5.- La tasa de fallas que contempla la norma incluye las fallas paramétricas y catastróficas. Es decir utiliza la ley aditiva de tasas de fallas ($\lambda_c + \lambda_p = \lambda_t$).
- H.6.- Las fallas paramétricas se suponen nulas, siendo minimizadas durante el diseño del equipo y en razón del mantenimiento preventivo del mismo ($\lambda_p \sim 0$).
- H.7.- Las fallas catastróficas se suponen equiprobables y a los efectos de realizar estimaciones conservativas se acota con la tasa de fallas total (λ_t), La tasa de fallas asociada a este modo de falla (catastrófico) ($\lambda_t > \lambda_c$).

///

H.8.- Las tasas de fallas correspondientes a cada modo de falla catastrófico analizado se obtiene dividiendo la tasa de fallas total obtenida a partir de la Sección 2 de la norma MIL-HDBK-217B/74 por el número de modos de falla.

H.9.- La temperatura ambiente seleccionada como base de cálculo es de 50°C.

Los resultados emergentes de este cálculo y evaluación teniendo en cuenta las hipótesis mencionadas han sido volcados en las planillas "Predicción de la Confiabilidad" y "Análisis y Modos de Falla". De ellos surgen los valores correspondientes a las tasas de fallas con y sin riesgo:

$$\lambda_i = 1,9261 \cdot 10^{-6} \text{ 1/hs.}$$

$$\lambda_s = 3,5593 \cdot 10^{-6} \text{ 1/hs.}$$

Considerando que la falla de uno cualquiera de los tres comparadores deja fuera de servicio todo el módulo o equipo, se llegan a los siguientes valores para las tasas de fallas con y sin riesgo:

$$\lambda_i = 3 \lambda_i = 5,7783 \cdot 10^{-6} \text{ 1/hs.}$$

$$\lambda_s = 3 \lambda_s = 10,6779 \cdot 10^{-6} \text{ 1/hs.}$$

Análisis de la disponibilidad:

En el análisis de la disponibilidad del equipo se utiliza el modelo de Markov de tres estados, asumiendo las siguientes hipótesis:

H.1.- Enumeración de los estados del equipo:

So = estado operativo.

Si = estado de falla con riesgo.

Ss = estado de falla sin riesgo.

H.2.- Se consideran tasas de fallas y reparaciones constantes.

H.3.- La probabilidad de más de una transición de un estado a otro en un pequeño intervalo de tiempo " Δt " es despreciable.

H.4.- En $t = KT$ ($K = 0, 1, 2, \dots, N$) el equipo está operativo (se encuentra en el estado So), siendo T el intervalo entre tests a pruebas.

H.5.- La duración del test es despreciable frente al intervalo entre tests.

H.6.- La reparación del equipo por fallas sin riesgo es llevada a cabo dentro del intervalo entre tests.

El diagrama de transición se observa en la Fig.3, donde:

λ_i = tasa de fallas con riesgo.

λ_s = tasa de fallas sin riesgo.

μ_s = tasa de reparaciones por falla sin riesgo.

///

Las ecuaciones del sistema son:

$$\dot{P}_{s_0}(t) = -(\lambda i + \lambda s) P_{s_0}(t) + \mu s P_{s_s}(t)$$

$$\dot{P}_{s_i}(t) = \lambda i P_{s_0}(t)$$

$$\dot{P}_{s_s}(t) = -\mu s P_{s_s}(t) + \lambda s P_{s_0}(t)$$

Válidos para $KT \leq t \leq (K+1)T$ con $K = 0, 1, 2, \dots, \infty$

Pasando a transformada de Laplace:

$$P_{s_0}(p) (p + \lambda i + \lambda s) - P_{s_s}(p) \mu s = P_{s_0}(0)$$

$$P_{s_i}(p) (p) - P_{s_0}(p) \cdot \lambda i = P_{s_i}(0)$$

$$P_{s_s}(p) (p + \mu s) - P_{s_0}(p) \lambda s = P_{s_s}(0)$$

La matriz de transición resulta:

$$|T| = \begin{vmatrix} p + \lambda i + \lambda s & 0 & -\mu s \\ -\lambda i & p & 0 \\ -\lambda s & 0 & p + \mu s \end{vmatrix}$$

Con las condiciones iniciales:

$$P_{s_0}(0) = 1$$

$$P_{s_i}(0) = P_{s_s}(0) = 0$$

La función confiabilidad en transformada de Laplace es:

$$R(p) = \frac{p + \mu s}{p^2 + p(\lambda i + \lambda s + \mu s) + \mu s \lambda i}$$

Antitransformando:

$$R(t) = \frac{p_1 - \mu s}{p_1 - p_2} \cdot e^{-p_1 t} - \frac{p_2 - \mu s}{p_1 - p_2} \cdot e^{-p_2 t}$$

Con $KT \leq t \leq (K+1)T$; $(K = 0, 1, 2, \dots, \infty)$

Siendo:

$$p_{1,2} = \frac{\lambda i + \lambda s + \mu s}{2} \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{4 \lambda i \mu s}{(\lambda i + \lambda s + \mu s)^2}} \right]$$

La disponibilidad media entre KT y $(K+1)T$; con $K = 0, 1, 2, \dots, \infty$ será:

$$\bar{A} = \frac{1}{T} \int_0^T R(t) \cdot dt$$

///

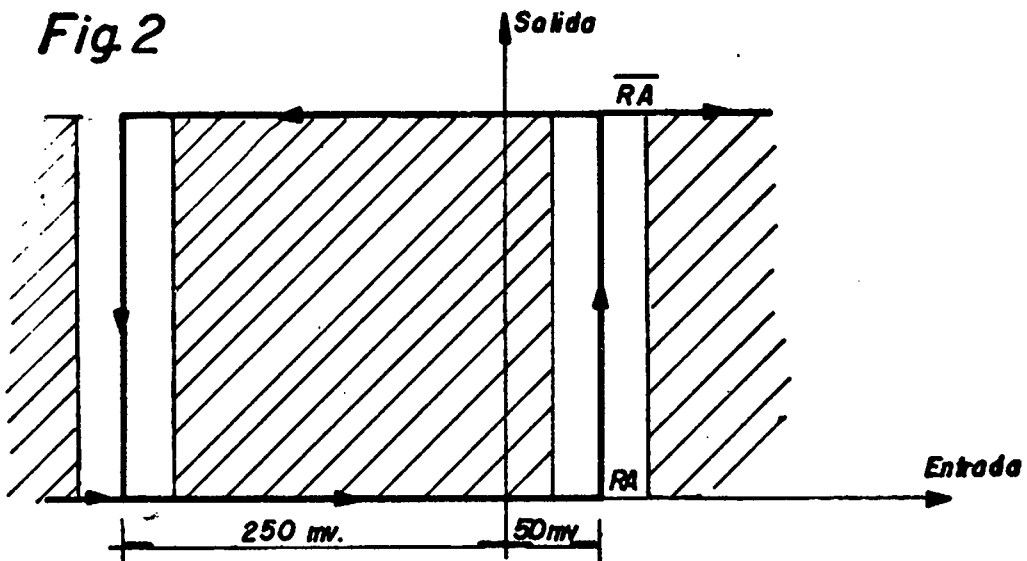
$$\bar{A} = \frac{1}{(p_1 - p_2)T} \left[\left(1 - \frac{\mu s}{p_1} \right) \left(1 - e^{-p_1 T} \right) - \left(1 - \frac{\mu s}{p_2} \right) \left(1 - e^{-p_2 T} \right) \right]$$

La indisponibilidad media resultará:

$$\bar{V} = 1 - \bar{A}$$

En el gráfico de la Fig.4 puede observarse esta última expresión en función de T y μ.

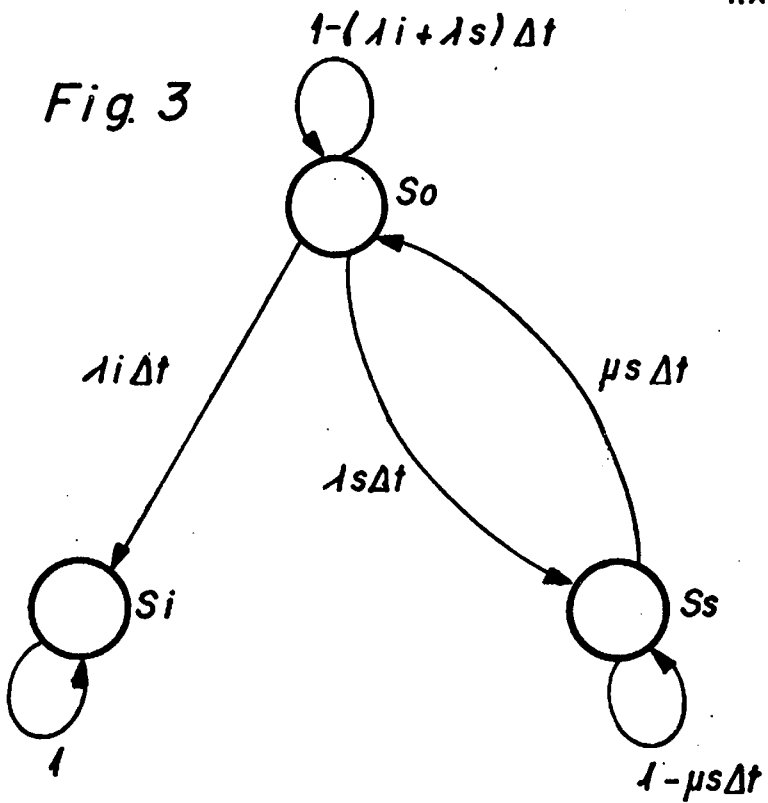
Fig 2



RA: RELE ACCIONADO

 $\overline{RA}$: RELE NO ACCIONADO

Fig. 3



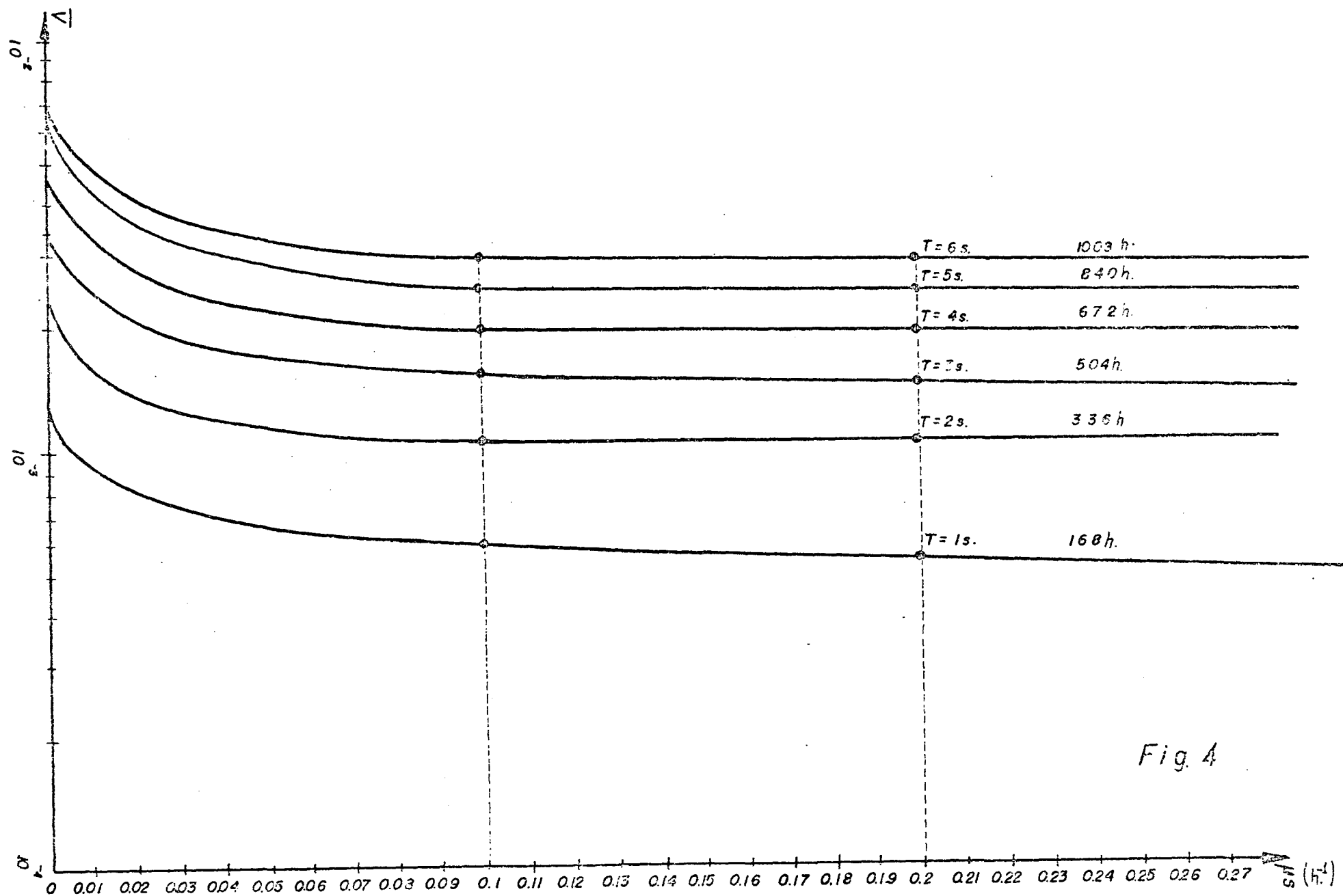


Fig. 4

SISTEMA:
CONDICIONES OPERATIVAS: Operación Óptima (GB)
NORMA UTILIZADA: MIL-HDBK-217B

MODULO: 073

FECHA:

C.N.E.A.
GERENCIA DE DESARROLLO
Departamento de Instrumen
tación y Control
GARANTIA DE CALIDAD

[illegible]

SISTEMA:
CONDICIONES OPERATIVAS: Operación Optima (GB)
NORMA UTILIZADA: MIL-4DBK-217B

MODULO: 073
HOJA N°: 2
FECHA:

. C.N.E.A. GERENCIA DE DESARROLLO Departamento de Instrumen tación y Control
GARANTIA DE CALIDAD

[illegible]

PREDICCIÓN DE CONFIABILIDAD

SISTEMA:
CONDICIONES OPERATIVAS: Operación Óptima (GB)
NORMA UTILIZADA: MIL-4DBK-217B

EQUIPO: Comparador

MODULO: 073
HOJA N°: 3
FECHA:

C.N.E.A.
GERENCIA DE DESARROLLO
Departamento de Instrumentación y Control
GARANTIA DE CALIDAD

CODIGO DE MONTAJE	COMPONENTE	CODIGO DE COMPONENT		TEMPERATURA (°C)	COEFICIENTE DE ESFUERZO	TASA DE FALLAS BASICA	COEFICIENTE DE AJUSTE	TASA DE FALLAS AJUSTADA	OBSERVACIONES
		LETRA	NUMERO						
EL-558	FD100	D	10	50°C	0,9	$0,016 \times 10^{-6}$	2,1	$0,0336 \times 10^{-6}$	MIL-S-19500
	MV5753	DL	1	50°C	---	---	---	$0,2 \times 10^{-6}$	MIL-HDBK-217B
	2N3906	Q	1	50°C	0,15	$0,0097 \times 10^{-6}$	0,504	$0,0049 \times 10^{-6}$	MIL-S-19500
	2N3904	Q	4	50°C	0,04	$0,0014 \times 10^{-6}$	0,504	$0,0007 \times 10^{-6}$	
	2N3904	Q	7	50°C	0,16	$0,0049 \times 10^{-6}$	1,4	$0,0069 \times 10^{-6}$	
	2N3904	Q	10	50°C	0,16	$0,0049 \times 10^{-6}$	1,4	$0,0069 \times 10^{-6}$	
	2N3904	Q	15	50°C	0,03	$0,0011 \times 10^{-6}$	1,4	$0,0015 \times 10^{-6}$	
	AD506	CI	1	50°C	---	$0,0065 \times 10^{-6}$	---	$0,0065 \times 10^{-6}$	MIL-883-CLASE B-2
	2N5060	THY1	1	50°C	0,004	$0,0012 \times 10^{-6}$	5	$0,006 \times 10^{-6}$	MIL-S-19500
	23012-A0105-A001	RLY1	1	50°C	1	$0,007 \times 10^{-6}$	36	$0,252 \times 10^{-6}$	MIL-HDBK-217B
	SA1-RV-20	P	1	50°C	---	$.75 \times 10^{-6}$	0,3	$0,225 \times 10^{-6}$	
	CONECTORES X10	---	---	---	---	$0,4 \times 10^{-6}$	2,58	$1,032 \times 10^{-6}$	
	SOLDADURAS X80	---	---	---	---	$0,0004 \times 10^{-6}$	---	$0,032 \times 10^{-6}$	
	CIRCUITO IMPRESO	---	---	---	---	$0,0015 \times 10^{-6}$	---	$0,0015 \times 10^{-6}$	

ANALISIS Y MODOS DE FALLA 552

SISTEMA: EQUIPO: COMPARADOR MODULO: 073
 CONDICIONES OPERATIVAS: Optimas (G.B.) HOJA: 1
 NORMA UTILIZADA: MIL-HDBK-217B FECHA:

C.N.E.A.
 GERENCIA DE DESARROLLO
 Departamento de Instrumentación y Control
 GARANTIA DE CALIDAD

CODIGO DE COMPONENTE	COMPONENTE	TASA DE FALLAS	MODOS DE FALLA	EFFECTOS EN EL EQUIPO O SIST.	OBSERVACIONES
RV1	1 K	$1,47 \times 10^{-6}$	Punto medio a masa.	Falla sin riesgo.	
			C.A. de punto medio.	Falla sin riesgo.	
			Punto medio al borne que no es masa.	Falla con riesgo.	
			C.A. de puntos extremos.	Falla con riesgo.	
RV4	500	$2,12 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
R1	1 M	$0,0013 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla con riesgo.	
			C.A.	Falla sin riesgo.	
R2	1 M	$0,0013 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
R7	464	$0,0018 \times 10^{-6}$	C.C. ó C.A.	Falla sin riesgo.	
R10	5K6	$0,001 \times 10^{-6}$	C.C. ó C.A.	Falla con riesgo.	
R11	75K	$7,5 \times 10^{-11}$	C.C. ó C.A.	Falla con riesgo.	
R12	510K	$0,0006 \times 10^{-6}$	C.C. ó C.A.	Falla con riesgo.	
R19	270K	$0,0006 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
R20	5K6	$0,001 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla con riesgo.	
			C.A.	Falla sin riesgo.	
R25	6K8	$0,0039 \times 10^{-6}$	C.C. ó C.A.	Falla con riesgo.	

ANALISIS Y MODOS DE FALLA 553

SISTEMA:

EQUIPO: COMPARADOR MODULO: 073

CONDICIONES OPERATIVAS: Optimas (G.B.) HOJA: 2

NORMA UTILIZADA: MIL-HDBK-217B

FECHA:

C.N.E.A.
GERENCIA DE DESARROLLO
Departamento de Instrumen
tación y Control

GARANTIA DE CALIDAD

CODIGO DE COMPONENTE	COMPONENTE	TASA DE FALLAS	MODOS DE FALLA	EFFECTOS EN EL EQUIPO O SIST.	OBSERVACIONES
R28	100K	$0,0005 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
R29	75K	$0,0005 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla con riesgo.	
R29	75K	$0,0005 \times 10^{-6}$	C.A.	Falla con riesgo.	
R34	24K	$0,001 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla con riesgo.	
			C.A.	Falla sin riesgo.	
D4	FD100	$0,0021 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla con riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
D7	FD100	$0,0021 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
D10	FD100	$0,033 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	
			C.A.	Falla con riesgo.	
Q1	2N3906	$0,0049 \times 10^{-6}$	C.C. (CE)	Falla sin riesgo.	
			C.A. (CE)	Falla con riesgo.	
Q4	2N3904	$0,0007 \times 10^{-6}$	C.C. (CE)	Falla sin riesgo.	
			C.A. (CE)	Falla con riesgo.	
Q7	2N3904	$0,0069 \times 10^{-6}$	C.C. (CE)	Falla con riesgo.	
			C.A. (CE)	Falla sin riesgo.	
Q10	2N3904	$0,0069 \times 10^{-6}$	C.C. (CE)	Falla con riesgo	

ANALISIS Y MODOS DE FALLA

554

C.N.E.A.
GERENCIA DE DESARROLLO
Departamento de Instrumentación y Control
GARANTIA DE CALIDAD

SISTEMA:

EQUIPO: COMPARADOR MODULO: 073

CONDICIONES OPERATIVAS: Optimas (G.B.)

HOJA: 3

NORMA UTILIZADA: MIL-HDBK-217B

FECHA:

CODIGO DE COMPONENTE	COMPONENTE	TASA DE FALLAS	MODOS DE FALLA	EFFECTOS EN EL EQUIPO O SIST.	OBSERVACIONES
Q10	2N3904	$0,0069 \times 10^{-6}$	C.A. (CE)	Falla sin riesgo.	
CI1	AD506	$0,0065 \times 10^{-6}$	Salida a +12v	Falla sin riesgo.	
			Salida a -12v	Falla con riesgo.	
RLY1	23012-A0105	0.252×10^{-6}	C.C. ó C.A.	Falla sin riesgo.	mal contacto - Falla con riesgo.
R37	10 K	$0,0025 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla con riesgo.	Led siempre apagado.
			C.A.		Led siempre encendido.
R40	2K2	$31,15 \times 10^{-12}$	C.C. ó C.A.		Led siempre encendido.
R43	5K6	$0,0045 \times 10^{-6}$	C.C.	Falla sin riesgo.	Led apagado
					Led encendido.
			C.A.	Falla con riesgo.	Led siempre apagado.
R46	3K	$0,0005 \times 10^{-6}$	C.C.		Led siempre encendido.
			C.A.		Led siempre apagado.
R49	1K	$0,0005 \times 10^{-6}$	C.C.		Led siempre apagado.
			C.A.		Led siempre encendido.
R52	2K2	$0,012 \times 10^{-6}$	C.C.		Led siempre encendido.
			C.A.		Led siempre apagado.
DL1	MV5753	$0,2 \times 10^{-6}$	C.C. ó C.A.		Led siempre apagado.
THY1	2N5060	$0,006 \times 10^{-6}$	C.C.		Led siempre apagado.
			C.A.		Led siempre encendido.
Q15	2N3904	$0,0015 \times 10^{-6}$	C.C. (CE)		Led siempre encendido.
			C.A. (CE)		Led siempre apagado.
P1	SAI-RV-20	$9,225 \times 10^{-6}$	C.C. (CE)		Led siempre apagado.
			C.A. (CE)		Led siempre apagado.
Conectores	(10)	$1,032 \times 10^{-6}$	C.A.	Falla sin riesgo.	

C.N.E.A.
GERENCIA DE DESARROLLO
Departamento de Instrumentación y Control
GARANTIA DE CALIDAD

[illegible]