

GUÍA DE APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE BLOQUE  
PARA MODELOS DE FIABILIDAD CASO:  
CALIBRACIÓN DE TEMPERATURA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPTO. DE INGENIERÍA MECÁNICA

GUÍA DE APLICACIÓN DE DIAGRAMAS DE BLOQUE  
PARA MODELOS DE FIABILIDAD CASO:  
CALIBRACIÓN DE TEMPERATURA


MANUEL ESTUARDO GUDIEL ARRIAZA



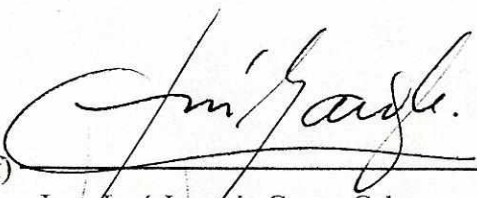
Trabajo de graduación presentado para optar  
al título de Ingeniero Mecánico  
en el grado de Licenciado

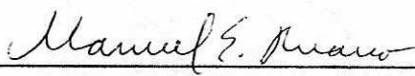
GUATEMALA  
1996


Vo. Bo. :

(f)   
Ing. Noel Francisco Prado Barragán  
Asesor

Tribunal:

(f)   
Ing. José Joaquín Garoz Cabrera

(f)   
Ing. Manuel Eduardo Ruano Pérez

(f)   
Ing. Rafael Eduardo Bances Recinos

Fecha de aprobación: 7 noviembre de 1996

DEDICO ESTE TRABAJO A:

DIOS Y LA VIRGEN MARÍA

MIS PADRES

MIS ABUELOS

RUTH A. CONTRERAS L.

AMIGOS

CATEDRÁTICOS DE U.V.G

## CONTENIDO

	Páginas
I. INTRODUCCIÓN	1
II. PRESENTACIÓN DE LA GUÍA	3
A. Contenido de la guía.	3
1. Propósito	3
2. Introducción	3
3. Utilización	3
4. Proceso	4
5. Descripción y definición	5
a. Definición del sistema	5
b. Declaración de la misión	6
c. Suposiciones	7
i. Suposiciones generales	7
ii. Suposiciones específicas	9
d. Definición del bloque	9
i. Identificación del bloque	9

	<i>Páginas</i>
ii. <i>Nivel de detalle</i>	10
iii. <i>Equipo de prueba</i>	11
iv. <i>Fallas de dispositivos e índices de reparación</i>	12
6. <i>Construcción del diagrama</i>	13
a. <i>Guía general</i>	13
b. <i>Tipos de conexiones básicas</i>	14
i. <i>Conexiones en serie</i>	14
ii. <i>Conexiones redundantes</i>	15
iii. <i>Conexiones redundantes especiales</i>	15
c. <i>Conexiones complejas</i>	16
7. <i>Análisis del Diagrama</i>	16
a. <i>Formulación del modelo matemático</i>	16
i. <i>Reducción de diagramas de bloque</i>	17
ii. <i>Descomposición del diagrama de bloques</i>	18
iii. <i>La misión y modelos básicos de fiabilidad</i>	18
b. <i>Cálculo de fiabilidad</i>	19
c. <i>Sensibilidad y categoría de mejoramiento</i>	20

	<i>Páginas</i>
8. <i>Resultados de la evaluación</i>	21
a. <i>Repaso del proceso</i>	21
b. <i>Causas comunes de falla</i>	22
c. <i>Localización de fallas</i>	23
d. <i>Otras técnicas de análisis</i>	24
i. <i>Diagramas lógicos</i>	24
ii. <i>Diagramas de estado</i>	24
iii. <i>Simulaciones</i>	25
9. <i>Sumario</i>	25
III. <i>APLICACIÓN DE LA GUÍA</i>	26
A. <i>Definición del sistema</i>	26
B. <i>Declaración de la misión</i>	26
1. <i>Criterio de falla</i>	27
2. <i>Período de tiempo de cada fase de la misión</i>	27
3. <i>Condiciones del ambiente</i>	28
4. <i>Apoyo logístico</i>	28
5. <i>Finalidad de la fiabilidad</i>	28
C. <i>Suposiciones</i>	28
1. <i>Suposiciones generales</i>	28

	<i>Páginas</i>
2. <i>Suposiciones específicas</i>	30
D. <i>Construcción del diagrama con requerimientos de la guía</i>	31
E. <i>Cálculo de índices de falla e índices de reparación para cada bloque</i>	32
1. <i>Cálculo para cada bloque</i>	32
a. <i>Bloque A</i>	32
b. <i>Bloque B</i>	33
c. <i>Bloque C</i>	34
d. <i>Bloques E y F</i>	35
2. <i>Datos de la guía para la calibración de temperatura</i>	35
a. <i>Forma del cálculo de fiabilidad del diagrama de bloques</i>	35
3. <i>División del diagrama de bloques por niveles y resultados parciales</i>	36
F. <i>Prueba de sensibilidad y mejoramiento del sistema con hoja electrónica y gráficas</i>	38
G. <i>Lista de evaluación del análisis según anexo L</i>	46
IV. <b>RESULTADOS</b>	48
A. <i>Resultados del sistema y lista de evaluación junto con sus hojas electrónicas y gráficas</i>	48
B. <i>Resultado de mejoramiento</i>	55

	<i>Páginas</i>
C. <i>Resultado de sensibilidad</i>	55
V. <i>CONCLUSIÓN</i>	56
VI. <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	58
A. <i>Bibliografía en libros</i>	58
B. <i>Bibliografía en internet</i>	58
ANEXOS	60
A. <i>Notación de fiabilidad y expresiones básicas</i>	60
B. <i>Configuración y cálculos de fórmulas</i>	62
C. <i>Redundancia de paralelo simple</i>	64
D. <i>Redundancia de reserva</i>	66
E. <i>Redundancia bimodal</i>	68
F. <i>Redundancia dúplex</i>	70
G. <i>Redundancia por mayoría de votos</i>	72
H. <i>Forma de cálculo de fiabilidad del diagrama de bloque</i>	75
I. <i>Reducción del diagrama de bloque de fiabilidad</i>	76
J. <i>Descomposición del diagrama de bloques de fiabilidad</i>	78
K. <i>Conversiones de diagramas de bloque y diagramas lógicos</i>	79
L. <i>Lista para evaluación del diagrama de bloque</i>	80
M. <i>Gráficas de comparación de patrones PT100</i>	82

<b>ANEXOS</b>	<b>Páginas</b>
<i>N. Hoja de datos de MTBF y MTTR de los dispositivos</i>	85
<i>Ñ. Glosario</i>	87

**LISTA DE GRÁFICAS DE APLICACIÓN  
DE LA GUÍA**

<b>Gráfica</b>	<b>Páginas</b>
<i>3.1 Gráfica de sensibilidad variando bloque A</i>	40
<i>3.2 Gráfica de sensibilidad variando bloque B</i>	41
<i>3.3 Gráfica de sensibilidad variando bloque C</i>	42
<i>3.4 Gráfica de sensibilidad variando bloques E y F</i>	43
<i>3.5 Gráfica de mejoramiento del sistema</i>	45
<i>4.1 Gráficas del sistema para tiempos lejanos al tiempo de la misión</i>	50
<i>4.2 Gráficas del sistema para tiempos cercanos al tiempo de la misión</i>	53

**LISTA DE HOJAS ELECTRÓNICAS  
DE LA APLICACIÓN DE LA GUÍA**

<b>Hoja</b>	<b>Páginas</b>
<i>3.1 Hoja de cálculo de sensibilidad para distintos valores de MTBF</i>	39
<i>3.2 Hoja de sensibilidad variando bloque A</i>	40
<i>3.3 Hoja de sensibilidad variando bloque B</i>	41
<i>3.4 Hoja de sensibilidad variando bloque C</i>	42

<i>Hoja</i>	<i>Páginas</i>
3.5 <i>Hoja de sensibilidad variando bloques E y F</i>	43
3.6 <i>Hoja del cálculo de mejoramiento del sistema</i>	44
4.1 <i>Hoja de resultado del sistema para tiempos lejanos al tiempo de la misión</i>	49
4.2 <i>Hoja de resultado del sistema para tiempos cercanos al tiempo de la misión</i>	52

#### LISTA DE GRÁFICAS DE LOS ANEXOS

<i>Gráfica</i>	<i>Páginas</i>
1. <i>Función de fiabilidad para una configuración de paralelo simple, con fiabilidades de bloques iguales</i>	64
2. <i>Gráfica y hoja electrónica de fiabilidad de paralelo simple</i>	65
3. <i>Función de fiabilidad de redundancia de reserva</i>	66
4. <i>Función de fiabilidad para configuración bimodal</i>	69
5. <i>Función de fiabilidad dúplex</i>	71
6. <i>Función de fiabilidad para redundancia por mayoría de votos</i>	73
7. <i>Función de fiabilidad para tiempo de misión menor a un MTBF</i>	74
8. <i>Gráfica del patrón # 1 pt100 con cubierta de vidrio o cuarzo realizada por el Ing. Eduardo Bances, encargado de la calibración y certificación de patrones.</i>	82

<i>Gráfica</i>	<i>Páginas</i>
<i>9. Gráfica del patrón # 2 pt100 con cubierta de vidrio o cuarzo realizada por el Ing.Eduardo Bances, encargado de la calibración y certificación de patrones.</i>	<i>82</i>
<i>10. Gráfica de comparación entre patrones</i>	<i>83</i>
<i>11. Gráfica de la diferencia en grados Celcius respecto del certificado en el punto del hielo</i>	<i>83</i>
<i>12. Gráfica del patrón # 3 pt100 con cubierta de vidrio o cuarzo realizada por el Ing.Eduardo Bances, encargado de la calibración y certificación de patrones.</i>	<i>84</i>

## I. INTRODUCCIÓN

*El presente trabajo representa la búsqueda e investigación para proporcionar una herramienta ingenieril que sea útil, práctica, sencilla y fácil de usar en las diferentes actividades de trabajo, para determinar la fiabilidad y disponibilidad de dispositivos, sistemas y procesos completos. Por eso se pensó en una guía que determine la fiabilidad empleando un método sencillo por diagramas de bloque, los cuales son de fácil interpretación.*

*El trabajo consta una guía extraída de la biblioteca de la oficina de seguridad (office of safety and mission assurance, OSMA) de la NASA en Centro de Investigaciones Lewis (Lewis Research Center, LeRC), via internet para determinar la fiabilidad de modelos por diagramas de bloques y su aplicación en el laboratorio de metrología del ICAITI en la calibración de temperatura, como caso específico. La guía explica todo el desarrollo para poder llegar a su fácil aplicación. También explican otros métodos complejos para determinar la fiabilidad junto con sus ventajas y desventajas en dicho proceso. Consecuentemente, en la aplicación se concluye que el método de diagramas de bloque es mucho más sencillo, y sus resultados son de igual manera tan representativos como métodos más complejos. Para aplicar la guía, se aprovechó el laboratorio de metrología del ICAITI, donde por primera vez se realizó una evaluación de fiabilidad por este medio. Se conformó un equipo con el personal del laboratorio para encontrar los datos necesarios para nuestra evaluación y se contó con su experiencia y sus referencias bibliográficas. El ejemplo se realizó de la forma indicada por la guía; se explican sus pasos, aunque es imposible explicar y aplicar todos en un solo ejemplo, pero con esta aplicación y la ayuda de los anexos, se tienen buenas referencias para realizar otros trabajos y que cada quien pueda aplicar la guía. Con este trabajo, se verá que se pueden efectuar estudios de sistemas, desde una forma sencilla y superficial hasta estudios más complejos y profundos, todo dependiendo de la cantidad de información que se tenga del sistema o proceso que determine la*

*fiabilidad. Posteriormente, este trabajo fue llevado por el Ingeniero Noel Prado Barragán, encargado del laboratorio de metrología del ICAITI, al Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), Buenos Aires, Argentina y al Centro Colombiano de Calidad de Metrología (CCCM), Bogotá, Colombia, para utilizarlo como referencia y buscar su aplicación.*

## II PRESENTACIÓN DE LA GUÍA

### **A. Contenido de la guía**

1. **PROPÓSITO.** *Esta guía proveerá a los ingenieros de antecedentes necesarios para construir y evaluar Diagramas de Bloque para Fiabilidad y Modelos Matemáticos de Fiabilidad. El proceso y las técnicas del desarrollo de los Diagramas de Bloque junto con un ejemplo aplicado y una lista de evaluación, se presentan en detalle. Los términos y definiciones para el entendimiento de los artículos acerca de los Diagramas de Bloque, también se incluyen en este trabajo. La bibliografía anotada facilitará estudios posteriores de temas específicos.*

2. **INTRODUCCIÓN.** *Un diagrama de bloque de fiabilidad (Reliability Block Diagrams), RBD es un diagrama de red que indica la relación de los elementos requeridos para llegar al cumplimiento de una misión. Eliminar un bloque es equivalente a la pérdida de un paso del camino a seguir para cumplir la misión, representado por ese bloque. El enfoque de los RBD es representar todos los caminos de las misiones terminadas a través del sistema. Frecuentemente los RBD saldrán de la relación de lo físico o funcional de los elementos para indicar qué elementos fallarán y aun, permita al sistema operar. Los RBD pueden ser partes eléctricas, mecánicas o un montaje de partes, dependiendo de cómo cada bloque o elemento sea definido. Los bloques se pueden nombrar como elementos en adelante para esta guía.*

3. **UTILIZACIÓN.** *El RBD es una herramienta necesaria para el análisis de fiabilidad, disponibilidad y estudio de impacto logístico. La relación de los elementos señalada forma la base para el cálculo de la fiabilidad del sistema y medidas de disponibilidad.*

*Un RBD es esencial para el diseño de sistemas de tolerancia por falla. El RBD se desarrolla tan pronto como la definición del programa lo permita, a pesar de no tener disponible datos numéricos. Aunque los RBD se usan frecuentemente en sistemas eléctricos y electrónicos, también se aplican a sistemas mecánicos.*

*El resultado de un RBD puede ser usado para:*

- Establecimiento de metas y objetivos de fiabilidad.*
- Evaluación del impacto en la seguridad del sistema por fallas en elementos.*
- Localización de fiabilidad para los elementos.*
- Estimación de fiabilidad del sistema y requerimientos de logística.*
- Análisis de configuración de varios sistemas.*
- Identificación de problemas potenciales en diseño.*
- Juicio en el campo del funcionamiento para dar una acción correctiva.*

*4. PROCESO. El análisis de un sistema al utilizar Diagramas de Bloque de Fiabilidad requiere un conocimiento minucioso del sistema en operación, el perfil de la misión y la interacción entre los elementos. El resultado de los RBD es más que sólo un diagrama de bloques la documentación que apoya la descripción del proceso usada para llegar al diagrama, suposiciones e índices de falla de los elementos son también necesarios. Los pasos siguientes para construir un RBD asegurarán un análisis minucioso:*

- Descripción y definición*

- *Definir el sistema*
- *Desarrollar la declaración de la misión*
- *Lista de suposiciones*
- *Definir los bloques del diagrama*
- *Obtener los datos de índice de falla y de reparación*
- *Construir el diagrama de bloques*
- *Analizar el diagrama de bloque*
- *Evaluar los resultados*
- *Reiterar con una nueva configuración*

## 5. DESCRIPCIÓN Y DEFINICIÓN.

a. Definición del sistema. *La construcción de un RBD constituye un análisis del sistema, y así la configuración física y operación funcional del mismo debe ser definida. La configuración del sistema debe ser establecido en relación a todos los dibujos y documentos que serán usados para la construcción del RBD. La revisión y fecha de cada dibujo y documento es importante en referencias futuras para determinar la validez del análisis después de hacer cambios de diseño al sistema. Esta definición del sistema determinará la finalidad del análisis de forma que incluya sólo esos elementos necesarios para fijar el sistema. La forma y función que provee la determinación del sistema junto con los requerimientos de ejecución permite el desarrollo de la declaración de misión, suposiciones y la definición del bloque.*

b. Declaración de la misión. El criterio de éxito de la misión y cómo se perfila la misma, debe ser definido para construir el RBD. Debe contener todos los eventos y entornos o ambientes del sistema. Los cambios en el ambiente o requerimientos operacionales durante la misión pueden alterar el RBD. En estas situaciones, se deben construir los RBD por separado para cada fase de la misión. La declaración de la misión incluye los siguientes elementos:

#### *Éxito de la misión/ Criterio de falla*

El criterio debe establecer dos tipos de descripción claros del estado en que opera el sistema; el sistema debe ser operacional o no operacional. Los parámetros de medición y tolerancias deben ser cuidadosamente seleccionados y especificados, ya que ellos definen una misión aceptable.

#### *Período de tiempo de cada fase de la misión*

El tiempo de la misión es necesario para convertir los índices de falla a fiabilidades. Si existe misiones de múltiples fases debido a los requerimientos del sistema, ambiente, entorno u otros parámetros entonces el tiempo para cada sub-misión debe ser establecido.

#### *Condiciones del ambiente*

El ambiente o el entorno del sistema afecta grandemente el índice de falla de los elementos. Cambiar condiciones de ambiente o entorno durante la misión, de igual manera creará múltiples fases en la misma.

#### *Apoyo logístico*

Para un sistema reparable, los recursos para el mantenimiento y reposición o realimentación deben ser establecidos para la estimación de tiempos de reparación del elemento.

### *Finalidad de la fiabilidad*

*Las metas de la fiabilidad deben ser establecidas para el sistema o cada bloque y pueden variar para cada fase de la misión. Los parámetros del funcionamiento deben ser definidos para cada elemento y entonces se pueden determinar los límites permisibles de operación. La declaración de misiones múltiples se debe formular para desarrollar un grupo de RBD con diferentes niveles del funcionamiento o configuración variable. Los resultados pueden ser usados como la base para el análisis de impacto de fiabilidad.*

*c. Suposiciones. Las suposiciones o reglas de base establecen el uso racional en la construcción de un RBD. Hay suposiciones generales y específicas que deben ser indicadas y documentadas. Ambos grupos de suposiciones forman los requisitos de la misión para el análisis de un RBD específico. Estas reglas de base simplificadas son flexibles y deben ser agregadas, modificadas o borradas como sea necesario durante la evaluación para la siguiente iteración del RBD. Su impacto debe ser medido junto con el perfil de la misión seleccionada y la configuración del sistema.*

*i. Suposiciones generales. Las suposiciones generales son básicas para los RBD. Ellas simplifican la construcción del modelo matemático que calcula la fiabilidad de los RBD. Estas suposiciones generales son:*

- Independencia de fallas en el bloque.*

*Las fallas en elementos deben ser estadísticamente independientes (e-independiente); la falla de un elemento no debe influir a otro y la interconexión debe contar con todas las relaciones de falla.*

- *Estado binario del elemento o dispositivo.*

*Cada elemento debe estar operando o fallando. El mínimo aceptable de degradación del elemento o dispositivo debe ser definido en la declaración de la misión.*

- *El sistema es operacional si todos los dispositivos operan.*

*Todos los dispositivos o elementos críticos deben ser incluidos*

- *El sistema falla si todos los elementos o dispositivos fallan.*

*Todos los pasos exitosos deben ser definidos; no debe haber un paso paralelo alrededor del RBD que no sea representado.*

- *La falla de un dispositivo no puede hacer de un sistema fallado uno operacional.*

*Todas las independencias de fallas deben ser mostradas. Un dispositivo con falla, después de una falla, en el sistema no debe hacer al sistema operacional debido a la activación del camino de refuerzo o de emergencia.*

- *El sistema se mantiene operacional después de cualquier reparación de dispositivos.*

*Índices de falla no deben ser influidos por reparaciones o calibraciones, desde que las operaciones de reparación son consideradas no-degradantes.*

- *Todas las líneas de conexión entre bloques tienen fiabilidad de uno.*

*La fiabilidad de interconexiones actuales como cables, conectores y tuberías deben ser modeladas como bloques en el diagrama o incluidas en bloques ya existentes.*

- *Un bloque falla si cualquier parte del bloque falla.*

*Las partes que componen a cada bloque se asume que deben formar una serie de RBD, a menos que se especifiquen de otra forma en otro RBD.*

*ii. Suposiciones específicas del sistema. Las suposiciones específicas del sistema son establecidas por el lugar en donde se hace el estudio y pueden ser modificadas durante el análisis. Estas suposiciones simplifican el análisis y señalan áreas que necesitarán una investigación posterior, para así mejorar la exactitud del análisis. Algunas áreas que se deben incluir en las suposiciones específicas del sistema son las siguientes:*

- *Deficiencias en los datos, aproximaciones, truncaciones.*
- *Coacción en la representación de los bloques.*
- *Fiabilidad del Software y de la interacción humana.*
- *Técnicas estadísticas usadas.*
- *Distribución de fallas.*
- *Independencias de fallas potenciales o causas comunes.*

*d. Definición del bloque.*

*i. Identificación del bloque. Se deben usar códigos de referencia para cada bloque, con identificación precisa que puede ser hecha durante el análisis y el reporte de resultados, asimismo pueden utilizar número de control lógico (NCL) para ensamblar o estructura averiada por trabajo (EAT).*

*Un código alfabético puede también desarrollarse. Cada bloque debe corresponder a un grupo de partes físicas o entidad funcional. Estos bloques deben ser elegidos para que sean independientes en las fallas. La descripción de cada bloque debe contener lo siguiente:*

- Nombre del bloque.*
- Referencia designada.*
- Índice de falla (MTBF).*
- Índice de reparación (MTTR).*
- Ciclo de rendimiento en operación.*
- Bloque(s) de entrada.*
- Bloque(s) de salida.*
- Tipo de conexión.*
- Criterio especial.*

*ii. Nivel de detalle. Con el diagrama definido, debe hacerse una decisión como por ejemplo, qué nivel de detalle debe ser incluido. No se debe establecer el nivel más bajo para todos los dispositivos sino preferible sólo lo necesario para conocer la necesidad descriptiva de cada función.*

*Pueden ser agregados más detalles según esté disponible la información. Otros criterios que se pueden considerar son:*

*Propósito del análisis.*

*Si el propósito es la fiabilidad de la misión, entonces se detallan dispositivos críticos de la misión como bloques separados y para el impacto logístico, un grupo de artículos que crean la demanda en el mantenimiento o soporte logístico al nivel de la reparación intentada.*

*Tiempo y costo de realizar el análisis.*

*Mayor detalle crea mayor número de bloques y aumentará el trabajo requerido para construir y analizar el RBD. Serán muy difíciles de configurar diagramas muy grandes. Es necesario considerar la necesidad de detalle mientras más se expanda el RBD.*

*Disponibilidad de datos sobre falla y reparaciones o calibraciones.*

*Debe asignarse un índice de falla y uno de reparación, según el nivel de detalle de cada bloque. Puede ser necesario agrupar por partes para formar un bloque y así asignar valores de falla o reparación.*

*iii. Equipo de prueba. El equipo usado para controlar y evaluar el sistema debe ser incluido en el RBD cuando sea una parte integral del sistema. Equipo de control, prueba o evaluación incorporado (Built-in test equipment, BITE) afectará de forma adversa a la fiabilidad, si incorrectamente indica una falla o no detecta una falla que abortará la misión. El equipo de apoyo base debe contener un equipo de comprobación automático (Automatic Test Equipment, ATE), el cual es necesario para la certificación del estado operacional del sistema. Es esencial incluir BITE o ATE en un RBD para precisar un estimado de la disponibilidad, ya que ambos afectan el mantenimiento.*

Las características que se deben mostrar en un RBD son:

- Puntos de interface (sensores, aisladores, etc.).
- Elementos de dispositivos usados como partes de ATE & BITE.
- Dispositivos redundantes detectores de pérdida.
- Dispositivo de detección de degradación.
- Apoyo de ATE por separado.

iv. Fallas de dispositivos e índices de reparación. Cada bloque en el RBD debe tener asignado un índice de falla o Tiempo Principal Entre Fallas (Main Time Between Failures, MTBF). Un índice de falla es la característica básica, ya que es independiente del tiempo de la misión. Los índices de falla de los dispositivos son usados con el tiempo de la misión para calcular las fiabilidades de los dispositivos. Estas, luego se usan en el modelo matemático de fiabilidad del sistema, asimismo referirse a los anexos A y M para notas y definiciones. Deben obtenerse estos datos en paralelo con la construcción del RBD para que estén disponibles cuando los cálculos estén hechos y completo el modelo matemático. Deben saberse los parámetros de funcionamiento del dispositivo antes de estimarse el índice de falla. El criterio de éxito que fue definido en el perfil de la misión (mission profile) determinará el funcionamiento aceptable del dispositivo. El índice de falla asignado se aplica aquellos módulos del dispositivo, que limitan al mismo de obtener el desempeño esperado. La distribución de fallas generalmente se asumen de tipo exponencial, para conformar una función. El índice de reparación del dispositivo o tiempo medio para reparar (Main Time To Repair, MTTR) es requerido sólo si una medida de disponibilidad está siendo calculada.

*El origen de los datos de los índices de falla y de reparación deben ser documentados como parte del análisis para referencias posteriores y evaluaciones. Los índices de fallas pueden ser estimados por cálculos, pruebas, operación o aproximación. Pueden usarse estimaciones ordinarias de cada dispositivo MTBF y MTTR durante las primeras etapas del análisis. Estos datos pueden ser actualizados después cuando información más específica esté disponible.*

*Algunos métodos para determinar índices de falla son:*

- Experiencia en el campo directamente o por pruebas.*
- Reportes de predicción de fiabilidad.*
- Estimaciones de ingeniería.*
- Experiencia en alguna parte similar.*

*Las unidades de medición deben ser consistentes durante el análisis. Las unidades de aproximación para el MTBF pueden ser en años u horas. Los índices de falla son generalmente medidos en fallas o calibraciones por millón o billón de horas. La medición más reciente se conoce como Fallas en Tiempo (Failures In Time, FITS).*

## **6. CONSTRUCCIÓN DEL DIAGRAMA**

a. Guía general. *Se usa para construcción de los RBD bloques y conexiones. Se establecen los bloques como se indicó anteriormente y sus conexiones se usan para representar todas las interrelaciones entre los bloques que producen una misión exitosa. Estos bloques y dependencias deben reflejar la configuración del sistema, suposiciones, declaración de la misión y definición de cada bloque. El RBD debe ser construido al usar la siguiente guía.*

*Información de formas o modos de fallas y efectos del análisis (failure mode and effects analysis, FMEA).*

*Si la información de FMEA está disponible debe ser usada para determinar las relaciones en la descripción del RBD.*

- *Secuencia lógica de bloques.*

*El orden es de izquierda a derecha para que las series de dispositivos conectados o grupos correspondan a la secuencia de operación. No es un requisito colocar ayuda de interpretación secuencial, ya que esto no afecta el cálculo final. Cualquier orden de series de dispositivos conectados dará la misma conclusión.*

- *Facilidad de separación.*

*El diagrama debe permitir una separación fácil de los bloques en grupos funcionales durante el análisis.*

- *Representación de interface.*

*Se deben mostrar las interfaces con elementos externos y áreas funcionales internas, de manera que sea el RBD lo más cercano al sistema físico.*

*b. Tipos de conexiones básicas.*

*i. Conexiones en serie. La relación más básica es la conexión en serie formada por una cadena de dispositivos o grupos. En esta configuración todos los bloques deben operar para llegar al éxito del proceso o la cadena entera será inoperable. En el Anexo B muestra representación de una conexión en serie.*

La fiabilidad es calculada con el resultado de cada fiabilidad por individual.

ii. Conexiones redundantes. Existe un número de configuraciones que producen una conexión redundante. La premisa es usar medios múltiples para cumplir la misión y así incrementar la fiabilidad del sistema. Los métodos básicos son el uso de configuraciones de  $m$ -de- $n$  y conexiones simples en paralelo, como se describen en el Anexo A.

Paralelo simple (Anexo C)

Esta configuración usa dispositivos múltiples que realizan la misma función. Estos son conectados para que cualquiera de cada uno de los dispositivos restantes pueda cumplir la misión. (Ejemplo con MS-Excel) y  $m$ -de- $n$  (Anexo B).

Las referencias también se referirán a esta configuración como  $k$ -de- $n$  y se designa como  $k/n$ ,  $r/n$  o  $m/n$  en los diagramas. El éxito consiste cuando por lo menos un número  $m$  de  $n$  dispositivos en paralelo operan. Para  $m=1$  esto es lo equivalente a un sistema en paralelo simple y con  $m=n$  es una configuración en serie.

iii. Conexiones redundantes especiales. Las siguientes situaciones son derivadas del sistema en paralelo y conexiones  $m$ -de- $n$ :

Redundancia de reserva (Anexo D)

Una reserva activa es equivalente a una configuración de  $m$ -de- $n$ , o un paralelo, ya que el dispositivo de reserva está constantemente operando. Con la línea de reserva apagada el dispositivo no está operando hasta que el dispositivo principal falla. La fiabilidad del dispositivo de cambiar de encendido y apagado también debe ser considerada. Las series paralelas es una de las técnicas de redundancia bimodal, que es aplicable mayormente a partes de piezas.

*Este método puede proveer protección sobre configuraciones simples en paralelo o en serie cuando un corto es la modalidad de falla predominante.*

*Paralelos en serie es la otra técnica bimodal de redundancia. Ésta es aplicada a situaciones donde la modalidad de falla del dispositivo primario es un circuito abierto.*

*Redundancia dúplex (Anexo F)*

*Este método se aplica a circuitos digitales de computadora que contienen detección de error y circuitos de cambio. Se controlan entradas duales para defectos o averías con el diagnóstico lógico.*

*Mayoría de votos (Anexo G)*

*Un circuito donde se vota es usado para escoger la salida y es basado en la mayoría de un número impar de dispositivos. Esto es similar a una configuración de m-de-n, con la adición de un votante en series. Este método se aplica mayormente a sistemas digitales.*

*c. Conexiones complejas. Una interconexión que utiliza un puente para dos caminos paralelos crea una configuración que no es ni en serie ni en paralelo. El anexo J muestra un RBD con conexiones complejas y requieren de un análisis más detallado para derivar el modelo matemático.*

## **7. ANALISIS DEL DIAGRAMA**

*a. Formulación del modelo matemático. Una vez el RBD es construido se usa luego para formular un solo modelo matemático de fiabilidad del sistema. Este modelo es un agregado de las fiabilidades de los dispositivos y es construido con base en una colección de términos que representan cada sección del RBD.*

*El modelo matemático de fiabilidad es generalmente establecido en términos de fiabilidades de dispositivos en vez de índices de falla, ya que está basado en probabilidades matemáticas. La distribución particular de fallas no es un factor cuando tratamos sólo con las fiabilidades de dispositivos. Los anexos C, D, E y G también muestran modelos matemáticos en términos de índices de fallas para una distribución de fallas constante.*

*Durante la formulación del modelo, la infiabilidad del dispositivo (Q) debe ser usada donde sea posible en vez de multiplicar por términos (1-R). Esto simplificará el modelo matemático y reducirá el número de términos. La infiabilidad puede ser puesta a la par de la fiabilidad de cada dispositivo y usada durante el cálculo del modelo.*

*El modelo matemático debe representar directamente el nivel de detalle mostrado en el RBD. Todos los símbolos, términos y anotaciones deben ser definidas y consistentes con su uso en el RBD, asimismo serán útiles durante la evaluación gráficos y tablas de ecuaciones de fiabilidad del dispositivo y modelos para cada perfil de misión. También deben mostrarse derivaciones de modelos de fiabilidad para configuraciones complejas.*

*i. Reducción de diagramas de bloque. El método de reducción es usado para simplificar el cálculo de fiabilidad de un RBD por fraccionamiento del RBD en secciones que contengan las conexiones básicas y complejas descritas en 6.b y 6.c. Al trabajar desde pequeños números de bloques y aumentando, se usan líneas inclinadas para la partición de cada sección. A cada sección se le designa con una referencia y la fiabilidad para cada una de estas secciones partidas se establece en términos de fiabilidades de bloques o secciones que contenga. Este proceso se continúa hasta que la fiabilidad del sistema pueda ser representado por secciones y bloques. El modelo final del sistema es luego establecido en términos de sólo fiabilidades de bloque sustituyendo las definiciones de bloque para cada sección. Ver anexo I.*

ii. Descomposición del diagrama de bloques. Cuando existe una conexión

compleja, la técnica de reducción de diagrama de bloque no puede ser usada.

La sección de RBD que contiene conexiones complejas puede ser analizada al utilizar el método llamado descomposición pivotal.

Este método romperá la conexión compleja en el equivalente de conexiones en serie y paralelo, las cuales pueden ser modeladas fácilmente. En cada uso de esta técnica, la conexión compleja es partida en dos secciones usando probabilidad condicional. Si cualquiera de las secciones sigue siendo compleja, luego la técnica se repite para esa nueva sección. Cuando queden secciones con conexiones en serie y paralelo se puede utilizar la técnica de reducción para construir el modelo. Anexo A marca la probabilidad condicional. Ver Anexo J para demostración de esta técnica.

iii. La misión y modelos básicos de fiabilidad. El modelo de fiabilidad de la misión

es construido con la unión de los modelos de cada partición o subsistema en una sola expresión matemática. Este modelo agregado representa la probabilidad de completar una misión específica con éxito y se toma en cuenta el efecto positivo de la redundancia sobre la fiabilidad. Otra forma de establecer la fiabilidad es con el modelo básico de fiabilidad, ya que se considera al sistema como si todos los bloques estuvieran en serie. La fiabilidad es calculada fácilmente se multiplican juntas todas las fiabilidades de los dispositivos. La fiabilidad básica es una pequeña aproximación a la fiabilidad de la misión, aunque aparentemente simple, demuestra la demanda logística para la reparación de dispositivos con falla. El tiempo principal a la falla (Mean Time To Failure, MTTF) es una indicación de la frecuencia de falla de un dispositivo durante una misión específica, indiferentemente de su efecto en el éxito de la misión.

La redundancia provee tolerancia de defectos o imperfecciones, pero una acción de mantenimiento eventualmente será requerida para restaurar la operación completa en algún punto en el tiempo.

b. Cálculo de la fiabilidad. La fiabilidad de cada dispositivo debe ser calculada del índice de falla y tiempo de la misión. La distribución de falla debe saberse para usar la función de fiabilidad apropiada. (exponencial, weibull, normal, gamma, etc.).

En el anexo H, hay un ejemplo para documentar el cálculo de fiabilidad durante el análisis y la forma de usarse se explica en el anexo I. El sistema resultante MTBF se calcula generalmente con base en la fiabilidad y el tiempo de la misión, usando una distribución exponencial. Ver anexo A para esta expresión. Asumiendo un índice de falla constante, este MTBF representará un promedio sobre el período entero de la misión, y es válido para una aproximación general, pero no debe utilizarse para estimar el intervalo de fallas durante la misión.

En general, la superposición de una colección grande de distribuciones de falla con dispositivos de diferentes edades puede ser generalmente asumida para llegar a un índice de falla constante. La combinación de estos índices de falla deben actuar de un modo aleatorio para que el MTBF represente el intervalo real de sucesos de falla durante la misión.

El sistema de modelo matemático puede ser usado para calcular la disponibilidad. La disponibilidad de cada dispositivo debe ser primeramente calculada de los índices de falla y reparación y luego sustituida por su fiabilidad en el modelo matemático. El anexo A provee las expresiones matemáticas para calcular la disponibilidad. Las computadoras pueden ser de gran utilidad en calcular la fiabilidad y disponibilidad del sistema. Proveen un método sencillo de actualizar el efecto de parámetros como índices de falla, índices de reparación y tiempo de la misión.

Los cambios en la configuración que alteran el modelo pueden resultar en cambios mayores para la descripción del programa. La facilidad de hacer cambios en la configuración debe ser de mayor consideración cuando se selecciona la implementación de un programa de un modelo matemático.

Varios paquetes de computación pueden ser usados como:

*Hojas electrónicas*

*Excel, Lotus, Enable*

*Lenguajes*

*BASIC, FORTRAN, PASCAL, C*

*Simplificadores de modelos matemáticos*

*TK! Solver, MuMath, MathCAD*

*Programas específicos de RAM*

*Quick RAM, UNIRAM, TIGER*

*El uso de programas específicos de RAM es el mejor enfoque para construir y analizar un sistema.*

c. Sensibilidad y categoría de mejoramiento. Debe ser evaluado el cambio en el

*sistema fiabilidad a causa de cambios del MTBF (o índice de falla) en el dispositivo.*

*Para realizar este análisis, la fiabilidad del sistema se calcula para cambios en cada MTBF de los dispositivos, mientras se mantienen constantes los otros MTBF de los dispositivos.*

El resultado es reportado como un cambio de punto de porcentaje en la fiabilidad del sistema. El análisis de sensibilidad es realizado al variar el MTBF de los dispositivos por factores de 0.5, 1.5, 2, etc. y recalculando la fiabilidad del sistema. El mejoramiento es realizado al cambiar individualmente la fiabilidad de cada dispositivo con el valor 1 y notando el cambio en la fiabilidad del sistema.

Se hará una lista o tabla con los dispositivos desde el punto porcentaje más alto hasta el más bajo que afectan sobre la fiabilidad del sistema. Esta lista mostrará qué dispositivos tienen mayor impacto en el sistema por cambios en el MTBF y dónde se pueden hacer los mayores mejoras.

## 8. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN

a. Repaso del proceso. La evaluación debe abarcar mucho más de lo que es el resultado de las figuras de fiabilidad o disponibilidad. Todo el proceso de desarrollo del RBD debe ser repasado. Los siguientes artículos deben ir en la lista para evaluación de su impacto en la fiabilidad del sistema.

- Suposiciones y restricciones específicas del sistema.
- Condiciones ambientales.
- Declaración de la misión de la ventana en operación.
- Definiciones detalladas de los dispositivos y su interacción.
- Metas de fiabilidad vrs. predicciones.
- Orden de categoría de fiabilidad de los dispositivos.
- Puntos solitarios de falla.

- *Causas comunes de fallas.*

*El análisis con RAM es un proceso interactivo, ya que el cálculo de una sola configuración no es suficiente, por lo que con modelos múltiples deben ser desarrollados y comparados para su negociación. También deben ser examinados otras alternativas de configuración con misiones variadas, requerimientos de fiabilidad y conceptos de diseño. El sistema debe ser analizado cada vez que se adquiere información adicional para determinar el impacto en la fiabilidad. Una evaluación de RBD se encuentra en el anexo L.*

*b. Causas comunes de falla. Un artículo importante para considerar durante la evaluación es la presencia de causas comunes de falla. Una gran suposición es que los dispositivos son cada uno independiente de su falla y la mayoría de RBD tendrán causas de falla que afectarán más de un dispositivo. Reconocer su existencia y evaluar su impacto es importante para la credibilidad del análisis. Entre fuentes comunes que originan fallas se mencionan las siguientes.*

- *Diseño del equipo.*

*Situaciones operacionales no anticipadas.*

- *Operaciones y errores de mantenimiento.*

*Fallas inducidas de factores humanos.*

- *Ambiente normal externo.*

*Influencia de dispositivos múltiples.*

- *Catástrofe externa.*

*Todos los mayores fallos abarcados o incluidos.*

- *Constructores comunes.*

*Errores de diseño y fabricaciones en dispositivos similares.*

- *Fuente de poder en común.*

*Redundancia vencida a causa de la pérdida de poder.*

- *Dependencia funcional.*

*Puntos solitarios de medición para funciones múltiples.*

c. Localización. *Las metas de la fiabilidad pueden ser usadas para guiar los esfuerzos y mejorar el sistema a lo largo de la localización. El RBD es analizado contra los requerimientos del diseño del sistema y las metas de fiabilidad y las fiabilidades de partes del sistema son luego localizadas o asignadas a un requerimiento de fiabilidad. Una vez estas metas son colocadas en cada bloque, pueden ser usados métodos de predicción y pruebas para estimar si se llegarán a ellas. Los siguientes factores pueden usarse para guiarse en una colocación.*

- *Saber los índices de falla.*
- *Factores de complejidad.*
- *Número de partes.*

- *Temperaturas extremas.*

- *Ambiente.*

d. Otras técnicas de análisis. Se pueden utilizar otras técnicas para la representación de la fiabilidad del sistema y análisis, como verificaciones al acercamiento de los RBD o cuando el acercamiento de RBD no puede ser usado. Son presentadas brevemente aquí para propósitos de información.

i. Diagramas lógicos. Estos pueden ser usados para describir la interrelación de eventos al usar puertas (Y)AND Y (O)OR. Al diagramar el éxito de la misión de esta manera se consigue el complemento del análisis de falla tipo árbol. La mayor diferencia es que la definición del éxito de la misión es el evento máximo. Las expresiones booleanas para RBD de serie o paralelo y diagramas lógicos son dobles matemáticos y son convertidas fácilmente usando la reglas de deMorgan para complementos. Algunas conexiones de RBD, tales como m-de-n, tal vez requieran un mayor número de puertas. Los resultados del método de análisis de diagramas lógicos será equivalente al método de RBD. El anexo K nos mostrará conversiones típicas entre RBD y formatos lógicos.

ii. Diagramas de estado. Este método está generalmente asociado el análisis Markov. Las suposiciones y reglas para esta técnica varía de la descrita aquí para los RBD. Son permitidos estados múltiples operacionales de cada dispositivo y cada interconexión representa una transición entre estados que crearán problemas índices no constantes de transición. No es requerida la independencia de fallas, ya que está representada en el diagrama de estado. Por el uso de matrices los cálculos para la solución pueden ser complejos para sistemas grandes. El tamaño de la matriz crece aproximadamente con el número de estados.

El anexo A describe el uso de esta técnica de análisis.

iii. Simulaciones. Pueden ser generadas simulaciones del sistema del RBD usando ya sea lenguaje de simulación (GPSS, SLAMM, etc.) ó BASIC, FORTRAN, etc. Estos métodos usan técnicas Monte Carlo para proveer distribuciones de tiempo, en aumento y disminución, para el sistema y dispositivos. La exactitud de los resultados dependerá de la exactitud de la representación del sistema y el número de corridas en la computadora. Con suficientes números de corridas, el estimado de la fiabilidad converge al valor calculado usando las fórmulas del anexo B. Las simulaciones son de gran ayuda para analizar sistemas muy grandes donde un modelo matemático sea molesto o incómodo de desarrollar y usar.

9. **SUMARIO** El cálculo de la fiabilidad de un sistema al usar diagramas de bloque es relativamente simple y rápido. Cuando es calculado de un modelo matemático, la fiabilidad del sistema y disponibilidad son resultados exactos derivados de métodos deterministas ya que ellos representan a largo plazo, estimaciones estables y seguras sobre el intervalo de la misión. Además, la distribución de falla compuesta no es fácil de determinar, la fiabilidad y disponibilidad instantánea en cualquier punto durante la misión no puede ser estimada. El RBD es una herramienta valiosa para evaluar tolerancias de falla de un sistema tanto como impactos de logística y de mantenimiento. Su mayor contribución es cuando se usa como herramienta para obtener datos internos útiles entre la interacción de dispositivos y su impacto en el sistema. Estos estimados son aun más valiosos para comparaciones y como guías de diseño, ya que al aceptar las figuras como una exacta representación de una operación real puede conducir a engaño debido, a las suposiciones que fueron requeridas.

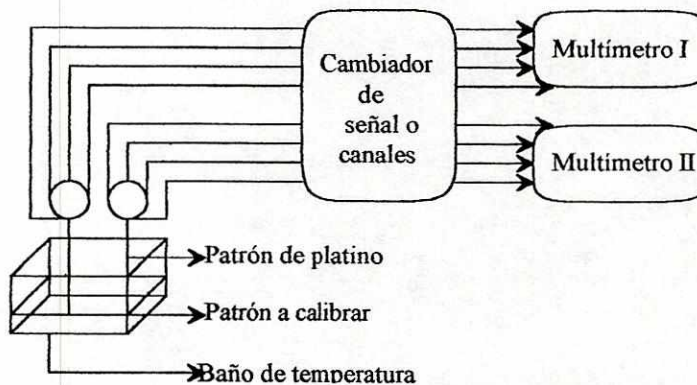
### III. APLICACIÓN DE LA GUÍA

A continuación se muestra el proceso que la guía presenta para su aplicación, ahora aplicado a nuestro caso específico de calibración de temperatura.

A. **Definición del sistema.** Nuestro sistema consta de los elementos siguientes:

1. Baño de temperatura
2. Un patrón de platino (sensor pt 100)
3. El termómetro a calibrar
4. Un intercambiador de señales o canales
5. Dos multímetros

Los elementos de este sistema se encuentran conectados de la siguiente forma:



Se contará con el apoyo de todos los catálogos de los dispositivos involucrados en esta misión.

B. **Declaración de la misión.** Este sistema consiste en calibrar un termómetro con la ayuda de un patrón de platino, cuando ambos se encuentran en el mismo medio (baño de temperatura). Cada uno tiene cuatro puntos o conexiones para cable donde se toma la medición de temperatura; estas son luego convertidas a pulsos eléctricos para luego ser tomados los datos con los multímetros. Estos resultados son comparados para llegar así a la

calibración del termómetro deseado. El entorno de la misión se considera constante por mantenerse la temperatura en un rango de

$\pm 5$  K.

- **Estado operacional.** Es cuando se obtienen mediciones continuas de temperatura, pudiendo leer en cada multímetro la indicación correspondiente en mVolts. En el baño debe obtenerse la temperatura deseada de manera estable y el cambiador de canales debe recibir y mandar una señal clara al multímetro.

- **Estado no-operacional.** Este se presenta cuando en uno de los multímetros o en ambos no es posible obtener lecturas correspondientes en mVolts. En el baño de temperatura no es posible obtener una temperatura estable en el tiempo deseado y en el cambiador de señal no se recibe o manda una señal clara al multímetro.

1. **Criterio de falla.** El criterio de falla de la misión es que el sistema es operacional o no operacional.

Los parámetros de medición de esta misión son:

- Temperatura
- Resistencia eléctrica

Las tolerancias de medición de esta misión son:

- Patrones de platino o sensores: 100 mK Temperatura
- Multímetros: 0.025 K por el factor  $RDT = \frac{0.4\Omega}{1K}$
- Baño de temperatura: 50 mK
- Entorno o ambiente:  $\pm 5$ K Temperatura ambiente sin complicaciones.

2. **Período de tiempo de cada fase de la misión.** La misión consta de una sola fase por no haber cambios considerables en el entorno, no provocando múltiples fases. Por lo tanto es un solo tiempo de misión.

3. **Condiciones del ambiente.** *En esta misión no hay cambios de temperatura mayores de los 5K, por lo que no se crean múltiples fases y así no afectará el índice de falla de los elementos.*

4. **Apoyo logístico.** *Por no haber repuestos ni equipos adecuados para la recalibración, se tiene que mandar el dispositivo para su calibración o cambio al fabricante, de donde se tiene un tiempo medio para reparar (MTTR) de aproximadamente un mes para cualquiera de los dispositivos que fallen.*

5. **Finalidad de la fiabilidad.** *La meta de la fiabilidad para esta misión es saber qué tan fiable es este proceso de calibración de termómetros ó sensores de platino contra otros patrones ahora y con el transcurso del tiempo, y cuáles son los factores que afectan más a la fiabilidad.*

*Desde luego se espera una fiabilidad alta debido al tipo de instrumentos patrones y el control que se lleva de todos ellos en el ICAITI, en el laboratorio de metrología. El éxito de cada bloque y consecuentemente de la misión completa depende de la fiabilidad de cada uno de los dispositivos.*

*Los parámetros de funcionamiento de la misión los define cada elemento y, en este caso son:*

- *Patrones de platino (sensores):*                     $0^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$
- *Multímetros:*     $0$  a  $0.2\text{ }K_{\Omega}$
- *Baño de temperatura:*                                 $-10$  a  $180^{\circ}\text{C}$
- *Temperatura ambiente:*                               $20^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$

### C. **Suposiciones.**

#### 1. **Suposiciones generales.**

a. *Las fallas de los elementos son estadísticamente independientes. No hay influencia de un elemento en otro.*

b. Cuando el sistema se encuentra operando, el mínimo aceptable de cada elemento es:

- Patrones de platino(sensores): 100 m K Teperatura
- Multímetros: 0.025 K
- Baño: 50m K Temperatura
- Temperatura ambiente:  $\pm 5$  K

c. Todos los dispositivos operan por lo que el sistema es operacional. Los elementos críticos son:

- **Baño de temperatura:** Proporciona un entorno de temperatura deseada entre 0 y 180°C con estabilidad de 20 mK en 2 minutos y 50 mK en 10 minutos.
- **Patrones de platino (sensores):** Que se encuentren debidamente certificados.
- **Multímetros:** Que se encuentren debidamente certificados.

d. El sistema falla si todos los elementos o dispositivos fallan. Los pasos de la misión son los siguientes:

- i. Conseguir una temperatura estable en el baño con el patrón sensor y el termómetro a calibrar dentro de él.
- ii. Tomar lectura del sensor patrón en el multímetro I.
- iii. Tomar lectura del sensor a calibrar en el multímetro II.
- iv. Subir la temperatura y repetir o regresar al paso i hasta la temperatura máxima de la calibración deseada.

e. La falla de un dispositivo no puede hacer de un sistema fallado uno operacional, la independencias entre fallas son:

- Si falla el baño es independiente de los sensores de platino y multímetros.
- Si fallan los sensores de platino patrón y de calibrar es una falla independiente del baño y los multímetros.

- Si fallan los multímetros es independiente de los sensores y del baño de temperatura.

f. El sistema continúa siendo operacional después de cualquier reparación de dispositivos, esto indica que el índice de falla no debe ser influido por reparaciones o calibraciones, ya que son consideradas no-degradantes; esto es cierto siempre que los sensores de platino y multímetros estén respaldados por su certificado de calibración con fecha vigente y la trazabilidad a patrones internacionales, que garantiza las tolerancias que deben cumplir.

g. Se tomará las líneas de conexión entre bloques con fiabilidad de uno (1), siendo estos cables y conectores.

h. Aquí se asumirá que el sistema es tal y, como se expresa en el diagrama de bloques, sin las partes que componen a cada bloque.

## **2. Suposiciones específicas.**

a. Deficiencia en los datos, aproximaciones y truncaciones: Aquí se tomará de apoyo el material del laboratorio de termometría del ICAITI, que cuenta con un guía de expresión de la incertidumbre y su medición (GUM), por lo que suponemos que las incertidumbres de los elementos individuales fueron calculados de acuerdo a la misma.

b. Limitación en la representación de los bloques:

- Se asume que la representación de un bloque será lo más cercano a la realidad, aunque siempre hay limitación en ciertos aspectos que se quieran representar. En este caso no hay limitación alguna para la representación del sistema.

c. La fiabilidad del software y de interacción humana:

El único dispositivo que cuenta con un software son los multímetros que tienen incorporado su propio software, por lo que se toma como una conexión interna del aparato y tiene fiabilidad de uno (1).

La interacción humana se toma con fiabilidad de uno (1), ya que su única función será tomar los datos de los multímetros y hacer una buena conexión entre los dispositivos.

d. *Técnicas estadísticas usadas:*

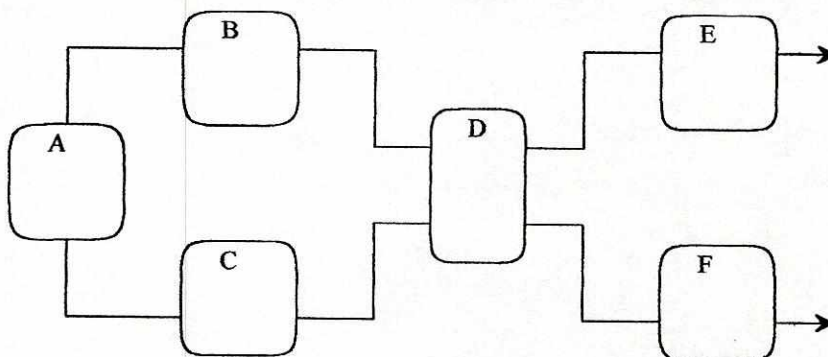
*Para el cálculo de las incertidumbres y tolerancias de los equipos críticos, asumimos la aplicación de la guía GUM.*

e. *Distribución de fallas: Se tomará que la distribución será exponencial, por la forma que se comportan las fallas, ya que la mayor parte de los casos cae dentro de este tipo.*

f. *Causas comunes de las fallas:*

- *Malos contactos o conexiones*
- *Elementos electrónicos fallados*
- *Recalentamiento en el motor del baño de temperatura*
- *Daños por envejecimiento de los sensores o patrones por cambios bruscos de la temperatura.*
- *Fuente común de corriente, falla por pérdida de corriente.*
- *Fabricantes en común, errores de diseño y fabricación en dispositivos similares.*

**D. Construcción del diagrama con requerimientos de la guía.**



*Bloque A: Baño de temperatura*

*Bloque B: Patrón a calibrar*

*Bloque C: Patrón de platino*

*Bloque D: Cambiador de canales*

Bloque E: Multímetro I

Bloque F: Multímetro II

E. **Cálculo de índices de falla e índice de reparación para cada bloque.** El índice de falla es una característica básica por ser independiente del tiempo de la misión. Este puede ser calculado por pruebas, operación o aproximaciones. Se puede usar estimaciones ordinarias de cada dispositivo MTBF y MTTR, durante las primeras etapas del análisis. Algunos de los métodos aplicados aquí para determinar los índices serán:

- Experiencia en el campo directamente o por pruebas
- Reportes de predicción de fiabilidad
- Estimaciones de ingeniería
- Experiencia en alguna parte similar.

Las unidades se darán en:

- MTBF y MTTR: pueden ser años o horas
- Índices de falla: calibraciones por millón de horas o por billón de horas.

Nota:

El bloque D se tomará con fiabilidad de uno(1), ya que se toma como un conector.

1. **Cálculo para cada bloque.**

a. **Bloque A (baño temperatura).**

Contamos con el baño de temperatura el cual su índice de falla es:

$$\lambda = \frac{\#de\ fallas}{Tiempo\ de\ operación}$$

$$\lambda = \frac{1falla}{3años} = \frac{1falla}{26280hrs} = 4.0 * 10^{-5}$$

Tiempo de misión de: 72 hrs

Tiempo de operación: 26,280hrs

Por requerir la fiabilidad solamente en el tiempo de la misión, tomamos el **tiempo de misión=tiempo de operación=72 hrs** y el ciclo de rendimiento es:

$$d = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo de misión}} \quad d = \frac{72}{72} = 1$$

Por el apéndice A sabemos que la fiabilidad de este bloque es:

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-(4.0^{-5} * 72)} = 0.99726$$

La disponibilidad del bloque es

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)}$$

Donde:

MTBF= 26,280hrs

MTTR=168hrs

$$A = \frac{26,280}{(26,280+168)} = 0.99365$$

**b. Bloque B (patrón a calibrar).**

Índice de falla del patrón a calibrar (pt100) es:

$$\lambda = \frac{\#de fallas}{\text{Tiempo de operación}}$$

$$\lambda = \frac{1falla}{1años} = \frac{1falla}{8760hrs} = 1.1 * 10^{-4}$$

Tiempo de misión de: 72 hrs

Tiempo de operación: 8760hrs

Por requerir la fiabilidad solamente en el tiempo de la misión, tomamos el **tiempo de**

**misión=tiempo de operación=72 hrs** y el ciclo de rendimiento es:

$$d = \frac{\text{Tiempo de operación}}{\text{Tiempo de misión}} \quad d = \frac{72}{72} = 1$$

Por el apéndice A sabemos que la fiabilidad de este bloque es:

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-(1.1^{-4} * 72)} = 0.9921$$

La disponibilidad del bloque es

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)}$$

Donde:

$$MTBF = 8760 \text{ hrs}$$

$$MTTR = 720 \text{ hrs}$$

$$A = \frac{8760}{(8760+720)} = 0.9240$$

c. **Bloque C (patrón de platino).**

Índice de falla del patrón de platino es:

$$\lambda = \frac{\#de\ fallas}{Tiempo\ de\ operación}$$

$$\lambda = \frac{1falla}{1años} = \frac{1falla}{4380hrs} = 2.3 * 10^{-4}$$

Tiempo de misión de: 72 hrs

Tiempo de operación: 4380hrs

Por requerir la fiabilidad solamente en el tiempo de la misión, tomamos el **tiempo de misión=tiempo de operación=72 hrs** y el ciclo de rendimiento es:

$$d = \frac{Tiempo\ de\ operación}{Tiempo\ de\ misión} \quad d = \frac{72}{72} = 1$$

Por el apéndice A sabemos que la fiabilidad de este bloque es:

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-(2.3 \cdot 10^{-4} * 72)} = 0.9921$$

La disponibilidad del bloque es

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)}$$

Donde:

$$MTBF = 4380 \text{ hrs}$$

$$MTTR = 720 \text{ hrs}$$

$$A = \frac{4380}{(4380+720)} = 0.8588$$

d. **Bloques E y F (multímetros).**

Los índices de falla de los multímetros son:

$$\lambda = \frac{\#de\ fallas}{Tiempo\_de\_operación}$$

$$\lambda = \frac{1falla}{2años} = \frac{1falla}{17520hrs} = 6.0 * 10^{-5}$$

Tiempo de misión de: 72 hrs

Tiempo de operación: 17520hrs

Por requerir la fiabilidad solamente en el tiempo de la misión, tomamos el **tiempo de misión=tiempo de operación=72 hrs** y el ciclo de rendimiento es:

$$d = \frac{Tiempo\_de\_operación}{Tiempo\_de\_misión} \quad d = \frac{72}{72} = 1$$

Por el apéndice A sabemos que la fiabilidad de este bloque es:

$$R = e^{-\lambda t} = e^{-(6.0^{-5} * 72)} = 0.9959$$

La disponibilidad de los bloques son:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF+MTTR)}$$

Donde:

MTBF= 17520hrs

MTTR=720hrs

$$A = \frac{17520}{(17520+720)} = 0.9605$$

2. **Datos de la guía de calibración de temperatura**

Los datos de MTTR y MTBF fueron proporcionados por el operador del proceso de calibración de temperatura; la fiabilidad y la disponibilidad fueron calculados.

a. **Forma del cálculo de fiabilidad del diagrama de bloques.**

<b>Nombre del sistema:</b> Calibración de Temperatura						<b>Revisión / Fecha:</b> B / 30 Agosto 96				
<b>Fase de la misión:</b> Temporal						<b>Configuración:</b> Todas las funciones están disponibles durante la misión.				
<b>Tiempo de la misión:</b> 72 horas										
<b>Preparado por:</b> MEGA						<b>Fecha:</b> 10 Septiembre 96				
Ident/ Fecha	MTBF (hrs)	FD	DC	DS	R	Q	MTTR (hrs)	DS	A	U
A	26,280	E	I	NI	0.9973	0.0027	168	NI	0.9936	0.0095
B	8,760	E	I	NI	0.9921	0.0079	720	NI	0.924	0.076
C	4,380	E	I	NI	0.983	0.017	720	NI	0.8588	0.1412
E	17,520	E	I	NI	0.9959	0.0041	720	NI	0.9605	0.0395
F	17,520	E	I	NI	0.9959	0.0041	720	NI	0.9605	0.0395

Datos	Bloque A	Bloque B	Bloque C	Bloque E	Bloque F
$\lambda$	0.00004	0.00011	0.00023	0.00006	0.00006
MTBF	26,280	8,760	4,380	17,520	17,520
MTTR	168	720	720	720	720

3. División del diagrama de bloques por niveles y resultados parciales.

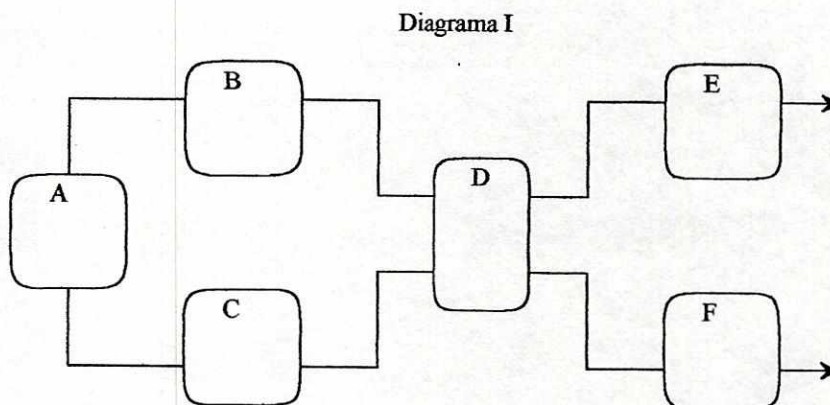
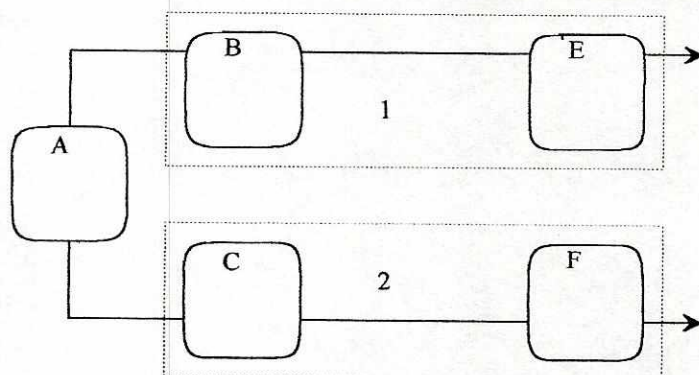


Diagrama II dispositivo D funcionando



Donde los bloques B, E y C, F se encuentran conectados en serie, entonces por el apéndice B queda la fiabilidad y disponibilidad:

$$R_1 = R_B * R_E = 0.9921 * 0.9959 = 0.9880$$

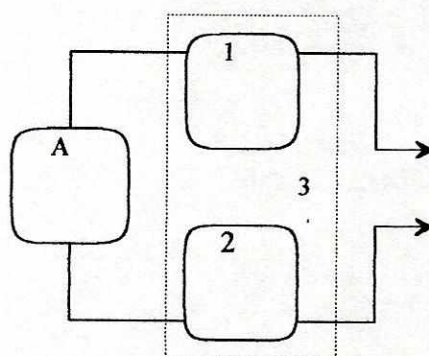
$$R_2 = R_C * R_F = 0.983 * 0.9959 = 0.9789$$

$$A_1 = A_B * A_E = 0.924 * 0.9605 = 0.8875$$

$$A_2 = A_C * A_F = 0.8588 * 0.9605 = 0.8248$$

y nos queda el siguiente bloque;

Diagrama III



Donde los bloques 1 y 2 se encuentran conectados en paralelo, entonces por el apéndice B queda:

$$R_3 = (R_1 + R_2) - (R_1 * R_2) = (0.988 + 0.9789) - (0.988 * 0.9789) =$$

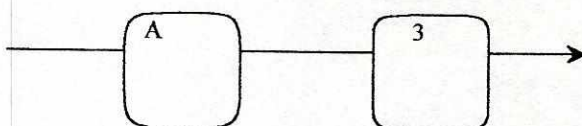
$$R_3 = 0.99975$$

$$A_3 = (A_1 + A_2) - (A_1 * A_2) = (0.8875 + 0.8248) - (0.8875 * 0.8248)$$

$$A_3 = 0.9803$$

por lo tanto el diagrama se reduce a la forma:

Diagrama IV



Por lo tanto, la fiabilidad total del sistema quedaría de la siguiente manera:

$$R_S = R_A * R_3 = 0.9972 * 0.99975 = 0.9969$$

$$A_S = A_A * A_3 = 0.9936 * 0.9803 = 0.97403$$

F. Pruebas gráficas de sensibilidad y mejoramiento del sistema. La prueba de sensibilidad se realiza fácilmente con el cambio de tiempos de reparación entre fallas (MTBF), variando el tiempo de la misión y viendo en la gráfica cómo es afectada y cómo se comporta con esos cambios. El análisis de mejoramiento se realizó al cambiar las fiabilidades de cada bloque al valor uno (1) y analizando cuál dispositivo realiza el mayor mejoramiento al resultado final de la misión. A continuación se muestra las hojas electrónicas, junto con sus gráficas, para mostrar el comportamiento del sistema con estas pruebas.

**HOJA ELECTRONICA DEL CALCULO DE LA SENSIBILIDAD DE LA MISION  
VARIANDO EL MTBF DE LOS DISPOSITIVOS  
Hoja 3.1**

Fiabilidad para Bloques Individuales  
 $R = e^{-\lambda t}$

		Indice de falla originales para 72 hrs					
		A	B	C	E y F		
		4.00E-05	1.10E-04	2.30E-04	6.00E-05		
		Intervalos de valores de MTBF					
		MTBF	MTBF	MTBF	MTBF	MTBF	MTBF
Valor	Tiempo (t)	A	B	C	A	B	C
1	72	2.50E-05	9.50E-05	1.00E-04	0.9982016	0.9931833	0.992826
2	72	3.00E-05	1.00E-04	1.50E-04	0.9978423	0.9928259	0.989258
3	72	4.00E-05	1.10E-04	2.30E-04	0.9971241	0.9921113	0.983576
4	72	5.00E-05	2.00E-04	3.50E-04	0.9964065	0.9857032	0.975115
5	72	5.50E-05	4.00E-04	4.00E-04	0.9960478	0.9716108	0.971611

Los datos de la fila # 1 a la 5 son las variaciones del valor MTBF para cada bloque y se encuentran ordenadas de menor a mayor.

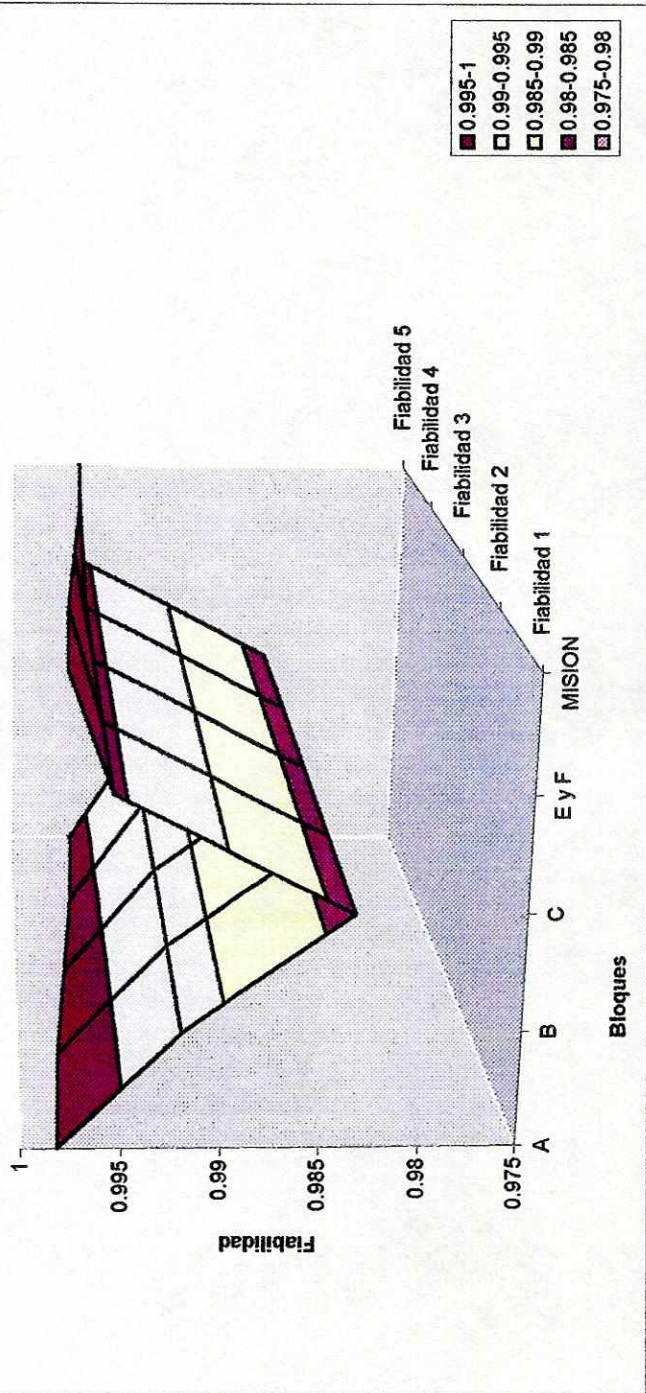
Siendo los datos que se encuentran en la fila # 3, son los valores originales del sistema para 72 hrs, que es el tiempo de la misión. Se puede observar que para un valor menor de MTBF mayor es la fiabilidad del bloque. Esto significa que existen menos reparaciones en un intervalo mayor de tiempo.

Fiabilidades para distintos valores de MTBF			
A	B	C	E y F
0.9982016	0.9931833	0.992826	0.996765
0.9978423	0.9928259	0.989258	0.996048
0.9971241	0.9921113	0.983576	0.995689
0.9964065	0.9857032	0.975115	0.995331
0.9960478	0.9716108	0.971611	0.994973

HOJA 3.2 VARIANDO BLOQUE A

Fiabilidad	A	B	C	E y F	MISION	R1	R2	R3
1	0.9820162	0.99211128	0.9835764	0.9956893	0.9979507	0.9878346	0.9793365	0.999749
2	0.99784233	0.99211128	0.9835764	0.9956893	0.9975915	0.9878346	0.9793365	0.999749
3	0.99712414	0.99211128	0.9835764	0.9956893	0.9968735	0.9878346	0.9793365	0.999749
4	0.99640647	0.99211128	0.9835764	0.9956893	0.996156	0.9878346	0.9793365	0.999749
5	0.99604783	0.99211128	0.9835764	0.9956893	0.9957974	0.9878346	0.9793365	0.999749

GRAFICA 3.1  
Variando A



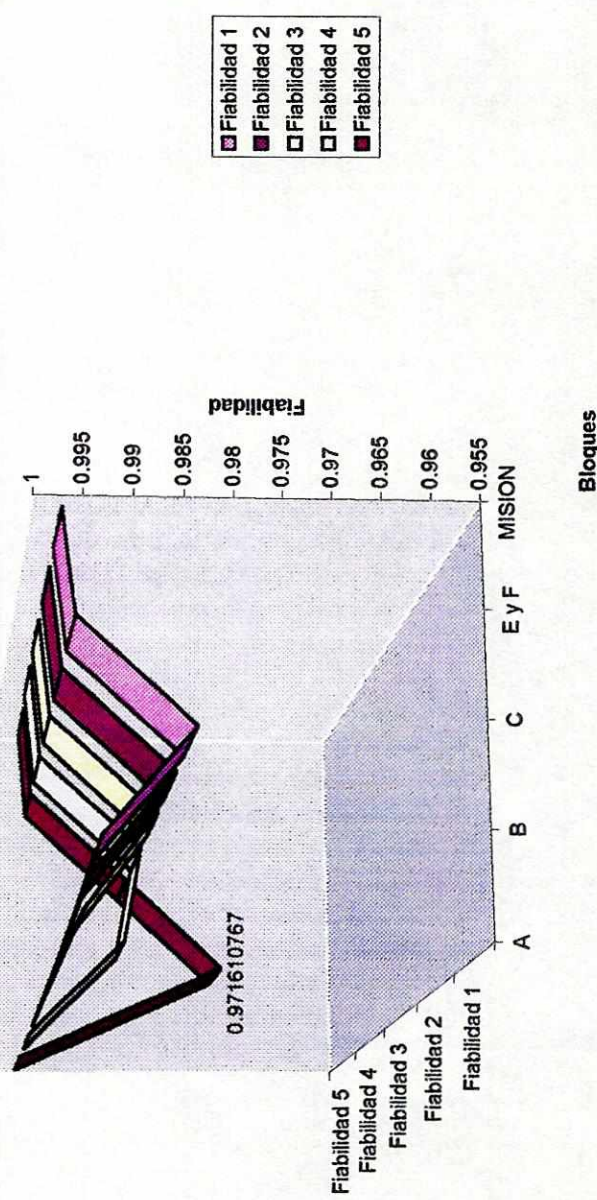
En esta gráfica variamos los valores de la fiabilidad del bloque A, dejando los demás valores fijos para luego ver cómo se comporta el resultado final de la misión. Por lo que se puede ver que la sensibilidad no es muy grande, ya que, a pesar de los cambios, no son tan significativos para el resultado de la misión.

Por lo tanto, la fiabilidad mayor del sistema es cuando el MTBF es menor. La fiabilidad más alta se da cuando se varían los valores del bloque A.

HOJA 3.3 VARIANDO BLOQUE B

Fiabilidad	A	B	C	E y F	MISION	R1	R2	R3
1	0.99712414	0.99318334	0.9835764	0.9956893	0.9968955	0.988902	0.9793365	0.999771
2	0.99712414	0.99282586	0.9835764	0.9956893	0.9968881	0.9885461	0.9793365	0.999763
3	0.99712414	0.99211128	0.9835764	0.9956893	0.9968735	0.9878346	0.9793365	0.999749
4	0.99712414	0.98570318	0.9835764	0.9956893	0.996742	0.9814541	0.9793365	0.999617
5	0.99712414	0.97161077	0.9835764	0.9956893	0.9964529	0.9674225	0.9793365	0.999327

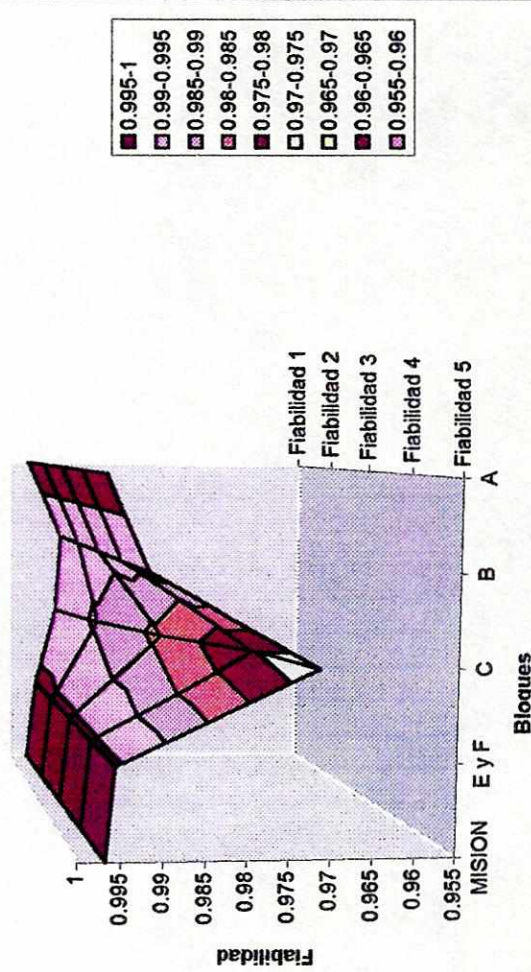
VARIANDO B



En esta gráfica variamos los valores de la fiabilidad del bloque B, dejando los demás valores fijos para luego ver cómo se comporta el resultado final de la misión. Por lo que se puede ver que la sensibilidad no es muy grande, ya que, a pesar de los cambios, no son tan significativos para el resultado de la misión, ya que se mantiene entre 0.995 y 1. Por lo tanto, la fiabilidad mayor del sistema es cuando el MTBF es menor.

## HOJA 3.4 VARIANDO BLOQUE C

Fiabilidad	A	B	C	EyF	MISION	R1	R2	R3
1	0.997124	0.992111	0.992826	0.995689	0.996985	0.987835	0.988546	0.999861
2	0.997124	0.992111	0.989258	0.995689	0.996942	0.987835	0.984994	0.999817
3	0.997124	0.992111	0.983576	0.995689	0.996873	0.987835	0.979336	0.999749
4	0.997124	0.992111	0.975115	0.995689	0.996771	0.987835	0.970911	0.999646
5	0.997124	0.992111	0.971611	0.995689	0.996729	0.987835	0.967422	0.999604

GRAFICA 3.3  
VARIANDO C

En esta gráfica variamos los valores de la fiabilidad del bloque C, dejando los demás valores fijos para luego ver cómo se comporta el resultado final de la misión.

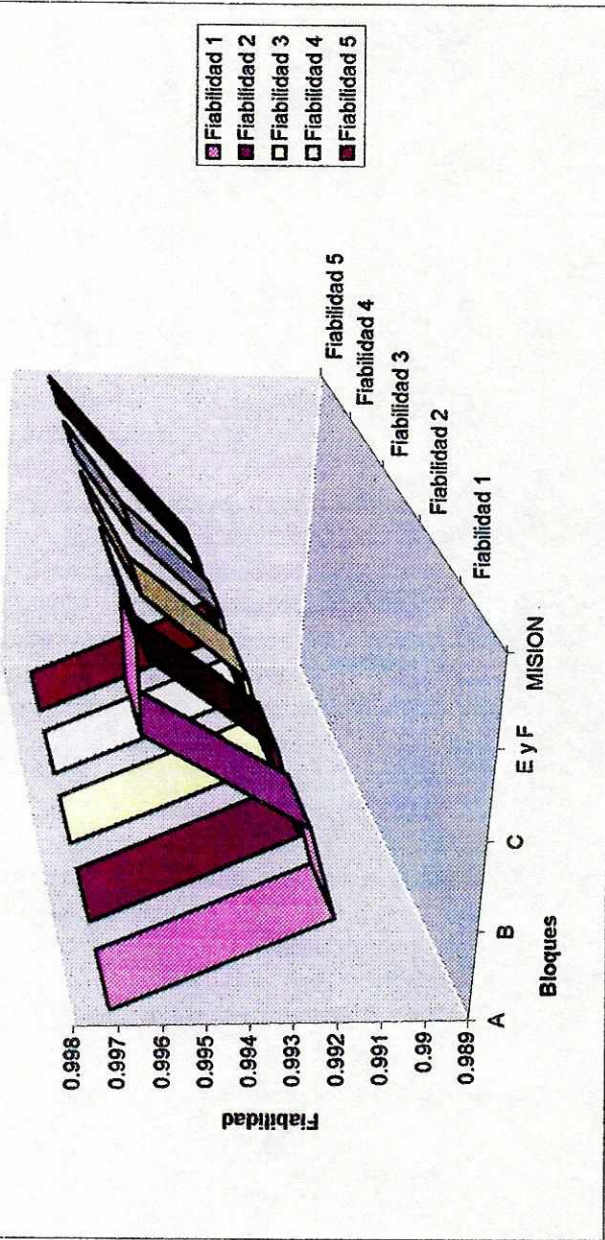
La sensibilidad en este caso no es significativa, aunque C varíe mucho porque la fiabilidad de la misión se mantiene con un valor de 0.995 a 1.

Por lo tanto, la fiabilidad mayor del sistema es cuando el MTBF es menor.

HOJA 3.5 VARIANDO BLOQUES E Y F

Fiabilidad	A	B	C	E y F	MISION	R1	R2	R3
1	0.997124	0.992111	0.992826	0.996765	0.997009	0.988902	0.989614	0.999885
2	0.997124	0.992111	0.992826	0.996048	0.996993	0.98819	0.988902	0.999869
3	0.997124	0.992111	0.992826	0.995669	0.996985	0.987835	0.988546	0.999861
4	0.997124	0.992111	0.992826	0.995331	0.996977	0.987479	0.98819	0.999852
5	0.997124	0.992111	0.992826	0.994973	0.996968	0.987124	0.987835	0.999843

GRAFICA 3.4  
VARIANDO E Y F



En esta gráfica variamos los valores de la fiabilidad del bloques E y F, dejando los demás valores fijos para luego ver cómo se comporta el resultado final de la misión. La sensibilidad en este caso se marca mas, ya que hace variar el resultado de la misión de valores de 0.996 a 0.997. Por lo tanto, la fiabilidad máxima del sistema es cuando el MTBF es mínimo.

**HOJA ELECTRONICA DEL CALCULO DEL MEJORAMIENTO DE LA MISION  
VARIANDO LA FIABILIDAD DE LOS DISPOSITIVOS A UNO (1)**

Hoja 3.6

Fiabilidad para Bloques Individuales $R = e^{-\lambda \cdot t}$	
<b>Indice de falla</b>	
A	B C
4.00E-05	1.10E-04 2.30E-04
Tiempo Tot.: 7.20E+01	
Cambiando la fiabilidad de cada bloque a (1)	
Tiempo (t)	A B C E y F M2
72	1 0.99211128 0.9835764 0.9956893 0.9997486
72	0.99712414 1 0.9835764 0.9956893 0.9970353
72	0.99712414 0.99211128 1 0.9956893 0.9970719
72	0.99712414 0.99211128 0.9835764 1 0.996995

R1	R2	R3	M2
Rb*Re	Rc*Rf	(R1+R2)-(R1*R2)	Ra*R3
0.9878346	0.9793365	0.999749	0.999749
0.9956893	0.9793365	0.999911	0.997035
0.9878346	0.9956893	0.999948	0.997072
0.9921113	0.9835764	0.99987	0.996995

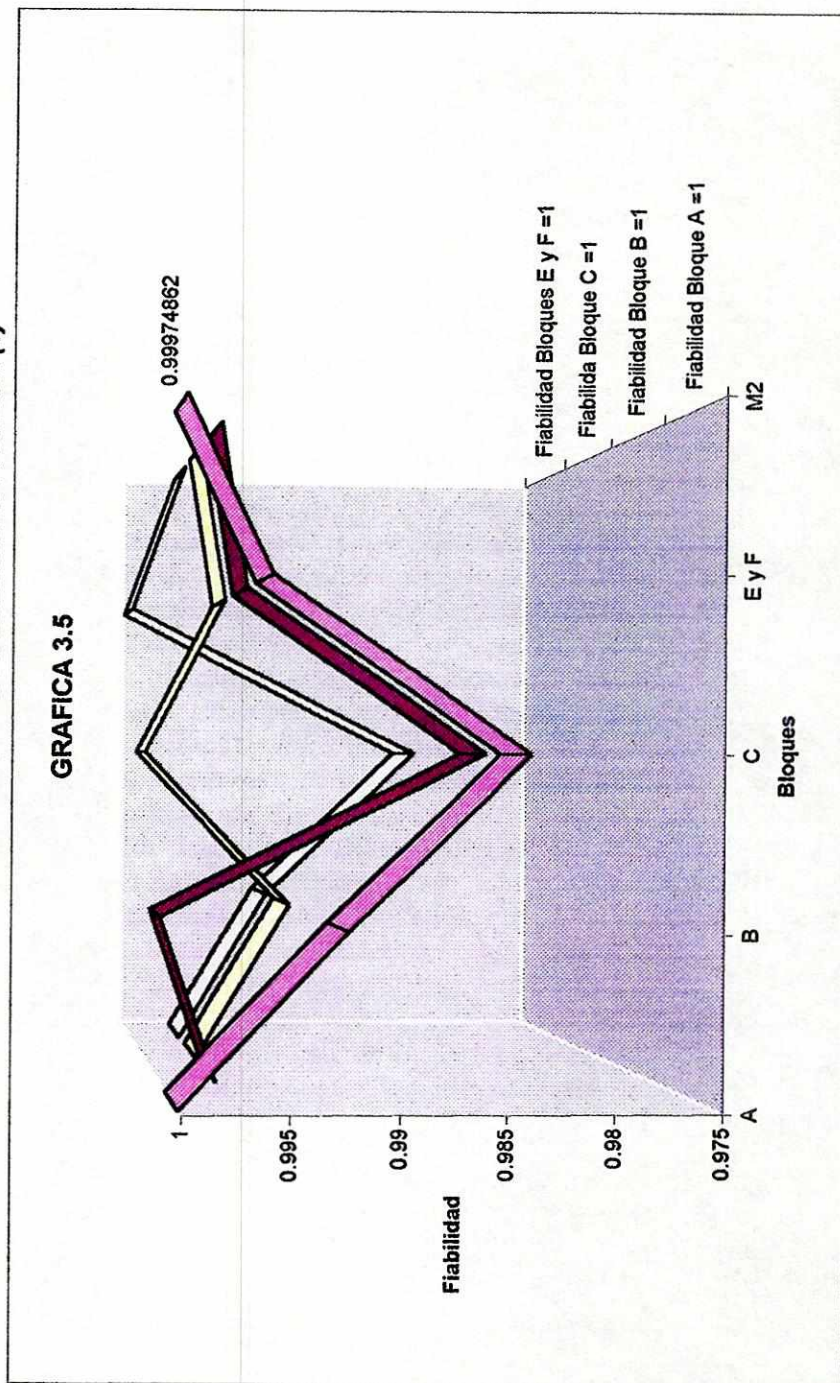
M1= valor de la fiabilidad original del sistema para 72 hrs.

M2= valor de la fiabilidad del sistema para 72 hrs pero variando las fiabilidades de cada bloque al valor uno (1).

<b>DIFERENCIA DE FIABILIDADES DE MISIONES M2-M1 POR ORDEN DE MEJORAMIENTO</b>			
	M1	M2	M2-M1
A	0.9968735	0.99974862	0.0028751
C	0.9968735	0.99707185	0.0001984
B	0.9968735	0.99703533	0.0001618
E y F	0.9968735	0.99699495	0.0001215

Por lo tanto, el mejoramiento se presenta mayor cuando se aplica la fiabilidad de uno (1) al bloque A o sea al baño de temperatura y se presenta el menor mejoramiento cuando se aplica uno (1) a los bloques E y Fo sea a los multímetros.

**GRAFICA PARA REPRESENTAR EL MEJORAMIENTO  
VARIANDO LAS FIABILIDADES A VALOR (1)**



Cada franja de esta gráfica representa una misión diferente donde se varía las fiabilidades de los bloques a valor uno (1) y dejando el resto de los bloques con el valor original. Y en cada misión se puede ver el mejoramiento que causa este cambio en el valor de la fiabilidad. Se puede observar que el mayor mejoramiento ocurre cuando el bloque A es fiabilidad de uno (1).

### G. LISTA PARA EVALUACIÓN DEL DIAGRAMA DE BLOQUE

- |  |    |
|--|----|
| 1. La declaración de la misión es clara y concisa?   | Si |
| 2. El nivel de detalle es suficiente?  | Si |
| 3. El análisis contiene detalle para fallas críticas o lógicas de la misión como se requiere?                | Si |
| 4. Las suposiciones y reglas de base son definidas y creíbles?   | Si |
| 5. Son incluidas suposiciones específicas?   | Si |
| 6. Las fallas comunes están anotadas en las suposiciones?  | Si |
| 7. Está hecha la localización de fallas en contra metas específicas de diseño?                               | No |
| 8. Los bloques están identificados clara y totalmente identificados?   | Si |
| 9. Las fallas de los bloques son independientes de cada uno?   | Si |
| 10. Todas las interdependencias están indicadas en el diagrama de bloques?                                   | Si |
| 11. El diagrama de bloque sigue la configuración correcta del sistema?                                       | Si |
| 12. Los circuitos de tipo switch e interconexiones son modelados apropiadamente?                             | Si |
| 13. Se muestran en el diagrama los dispositivos de BITE y ATE? ya que son dispositivos internos del sistema. | No |
| 14. El modelo matemático se encuentra claramente derivado?   | Si |
| 15. Están indicadas la distribución de fallas?   | Si |
| 16. Se está usando una computadora para facilitar los cálculos y permitir así evaluar mayor configuración?   | Si |

17. *Hay alguna evaluación de los resultados del análisis?* Si
18. *Se evaluaron varias configuraciones y se explica  
porqué su aprobación o rechazo?* No
19. *Se consideró otros factores además de la fiabilidad  
para aprobar o rechazar una configuración?* No
20. *Los resultados son usados en disponibilidad  
o mantenimiento?* Si
21. *Para determinar fuentes de grandes mejoras de  
la fiabilidad del sistema se hizo un análisis de sensibilidad?* Si

#### IV. RESULTADOS

##### A. Resultados total del sistema.

La fiabilidad del sistema es: **99.69%**

La disponibilidad del sistema es : **97.40%**

Se evaluó según la lista de evaluación

tomando las 21 preguntas como el 100%: **80.95%** de la  
totalidad.

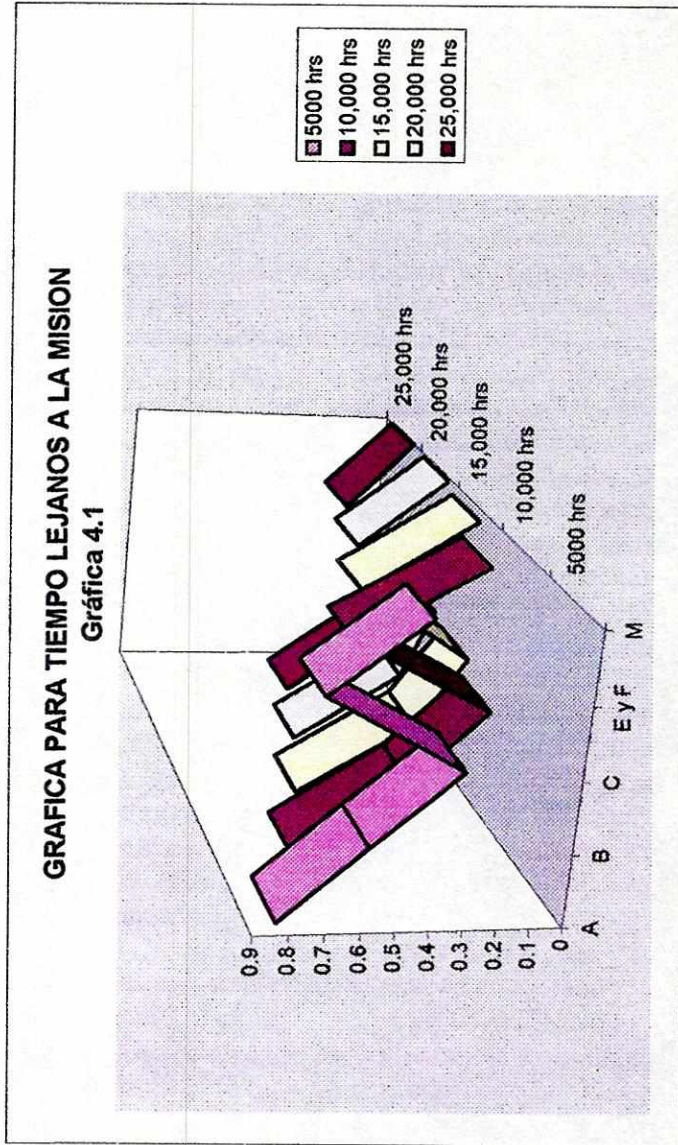
Ver resultados en las gráficas del comportamiento sistema en los tiempos cercanos  
y lejanos a la misión.

**HOJA ELECTRONICA DEL CALCULO DE FIABILIDAD DE LA MISION  
PARA TIEMPOS LEJANOS AL TIEMPO DE LA MISION**

Hoja 4.1

Fiabilidad para Bloques Individuales		Indice de falla			
$R = e^{-\lambda t}$		A	B	C	E y F
Tiempo Tot.:	5.00E+03	4.00E-05	1.10E-04	2.30E-04	6.00E-05
Fiabilidad para cada bloque individual					
Tiempo (hrs)	A	B	C	E y F	M
0	1	1	1	1	1
5,000	0.8187308	0.5769498	0.3166368	0.7408182	0.459903
10,000	0.67032	0.3328711	0.1002588	0.5488116	0.152602
15,000	0.5488116	0.1920499	0.0317456	0.4065697	0.049882
20,000	0.449329	0.1108032	0.0100518	0.3011942	0.016311
25,000	0.3678794	0.0639279	0.0031828	0.2231302	0.005505
30,000	0.3011942	0.0368832	0.0010078	0.1652989	0.001886

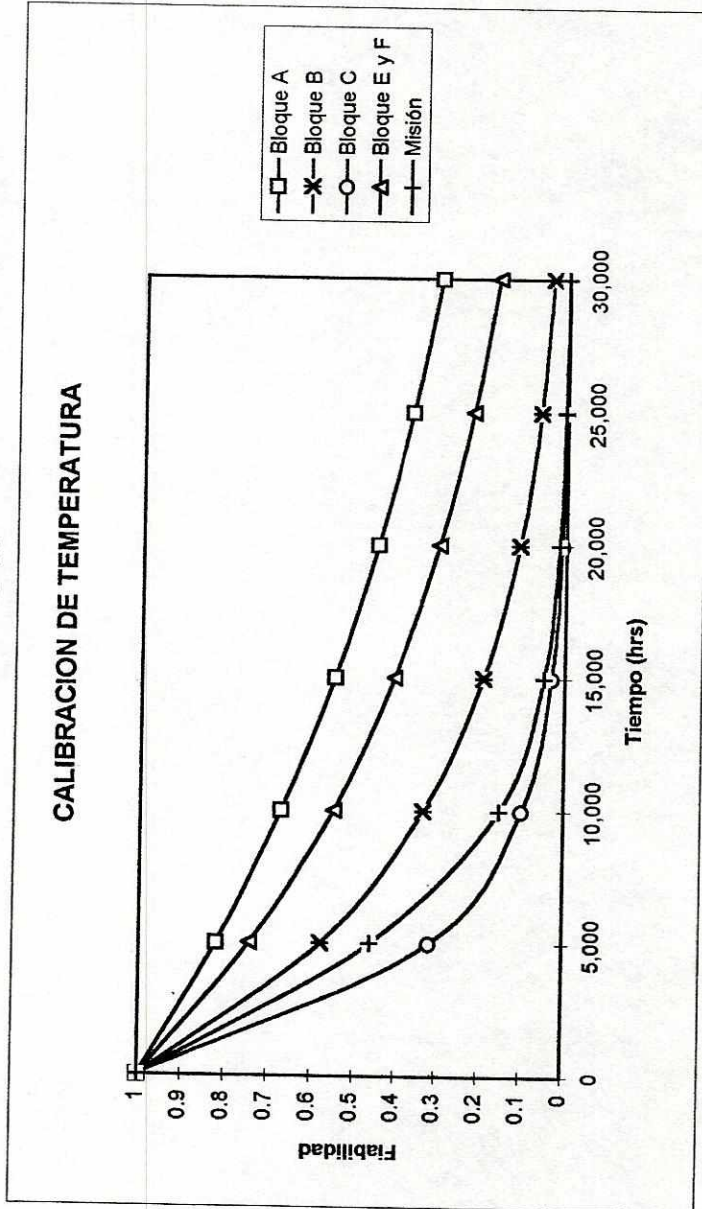
Esta tabla contiene los datos de la fiabilidad para tiempos mayores de 5,000 hrs con intervalos de 5,000. Se puede apreciar que la menor fiabilidad la posee el dispositivo C por su calibración que se realiza cada 6 meses.



En esta gráfica se puede ver que cada franja representa el comportamiento de la misión para cada intervalo de tiempo y la mayor fiabilidad ocurre mientras menor sea el tiempo transcurrido sin calibración. Se puede ver que con el transcurso del tiempo, dispositivo C es el que posee la menor fiabilidad del sistema.

**GRAFICA DE COMPORTAMIENTO DE LA MISION  
PARA TIEMPOS MAYORES DE 5000 Hrs**

**Gráfica 4.1**



Esta gráfica representa, con el transcurso del tiempo, el comportamiento de los bloques y de la misión.  
Los tiempos usados aquí son muy lejanos al tiempo de la misión, por lo que se puede observar el cambio significativo en la fiabilidad.

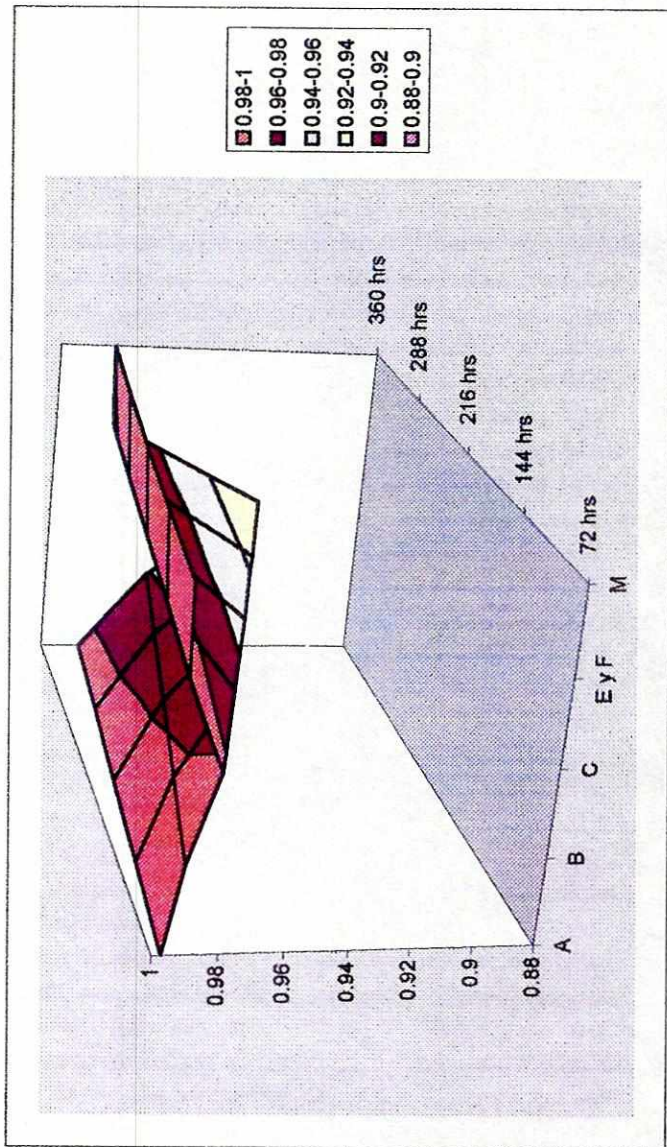
**HOJA ELECTRONICA DEL CALCULO DE FIABILIDAD DE LA MISION  
PARA TIEMPOS CERCANOS AL TIEMPO DE LA MISION**

Hoja 4.2

Fiabilidad para Bloques Individuales		Indice de falla				
$R = e^{-\lambda t}$		A	B	C	E y F	
Tiempo Tot.: 7.20E+01		4.00E-05	1.10E-04	2.30E-04	6.00E-05	
Fiabilidad para cada bloque individual		A	B	C	E y F	M
Tiempo (t)	0	1	1	1	1	1
	72	0.9971241	0.9921113	0.9835764	0.9956893	0.996873
	144	0.9942566	0.9842848	0.9674225	0.9913972	0.993273
	216	0.9913972	0.97652	0.9515339	0.9871236	0.989227
	288	0.9885461	0.9688166	0.9359062	0.9828684	0.984761
	360	0.9857032	0.9611738	0.9205352	0.9786316	0.979902
	432	0.9828684	0.9535914	0.9054167	0.974413	0.974674

Esta tabla contiene los datos de la fiabilidad para tiempos cercanos al tiempo de la misión y se puede apreciar que la mayoría son valores altos, aunque la fiabilidad del bloque C sigue siendo el de valores más bajos.

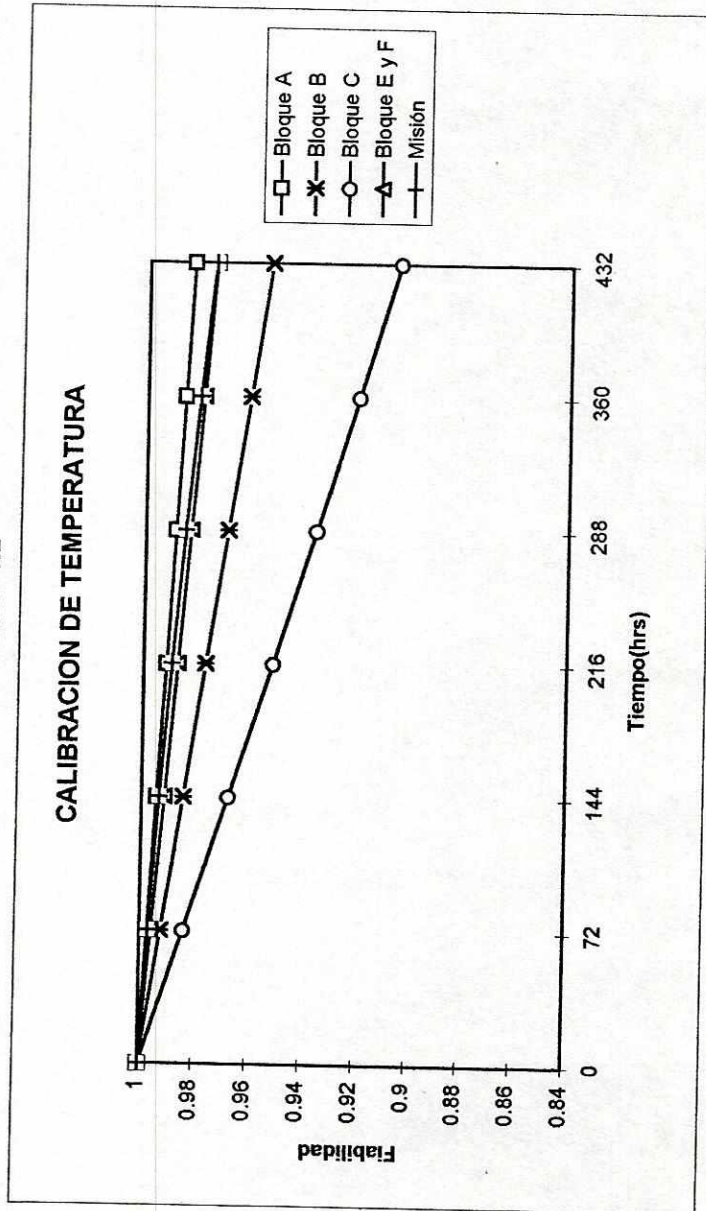
**GRAFICA EN 3D DE LA FIABILIDAD DE LA MISION  
EN TIEMPOS CERCANOS**  
Gráfica 4.2



Se observa en esta gráfica que todos los dispositivos tienen una fiabilidad alta cuando están cerca de las 72 hrs, pero siempre el dispositivo C es el que posee la fiabilidad más baja por todo el centro de la gráfica y que su valor más alto se encuentra cuando estamos prácticamente en el tiempo de la misión.

**GRAFICA DE COMPORTAMIENTO DE LA MISION  
PARA TIEMPOS CERCANOS A LA MISION**

**Gráfica 4.2**



Esta gráfica representa con el transcurso del tiempo la fiabilidad de los bloques y de la misión. Estos tiempos son cercanos al tiempo de la misión, por lo que se mantienen con valores aun bastante fiables llegando a las 430 hrs.

B. Resultado del mejoramiento. Se realizó por medio de diferencias entre el resultado de la misión original y la misiones donde se cambió las fiabilidades de cada bloque a uno (1). Se ve claramente que la mayor diferencia es cuando se cambia la fiabilidad del bloque A (baño) al valor de uno (1) y la menor sucede cuando se cambia a los bloques E y F (multímetros). Por lo tanto, el mejoramiento lo proporciona el bloque A.

C. Resultado de la sensibilidad. La sensibilidad de los dispositivos no es muy grande ya que solamente hay variaciones con variaciones en el MTBF mayores a las 7,000 hrs.

## V. CONCLUSIÓN.

La conclusión del trabajo es básicamente explicar lo que permite hacer esta guía, su aplicación y su relación con otros métodos que proporcionan confiabilidad a un análisis. La guía tiene muchos pasos a seguir y, aunque parecen ser muy sencillos, son de gran ayuda a la hora de tener que interpretar los resultados. Hay que establecer todo desde el inicio para que los pasos siguientes sean fáciles de seguir. Este método de obtener la fiabilidad de un sistema o proceso tiene características similares a métodos que sirven para obtener incertidumbres, solamente que al hablar de incertidumbres sabemos que se habla de un rango en donde los datos son confiables y, dependiendo el método que se utilice, así será la confiabilidad que se tenga de los datos. Según la "**Guía para evaluar y expresar las incertidumbres de resultados de mediciones**", del NIST(GUM), hay varias formas de obtener las incertidumbres de los datos, pero hay dos tipos generales de clasificación y son:

A. **Incertidumbres que se evalúan por métodos estadísticos.**

B. **Incertidumbres que se evalúan por otros medios.**

La que más se aplica a nuestro sistema es la del tipo B, la cual se obtiene de:

- Datos tomados previamente
- Experiencia o conocimiento general del comportamiento y propiedades de materiales relevantes o elementos críticos e instrumentos
- Por especificaciones del fabricante
- Datos proveídos en calibraciones y otros reportes, e
- Incertidumbres asignadas por datos referidos a manuales

El cálculo de incertidumbre usado a nivel industrial y comercial es el de incertidumbre expandida. Aunque los datos del comportamiento de las fallas se comporten exponencialmente y los datos de la incertidumbres se comporten de una forma normal o rectangular, ambos métodos se

*pueden complementar para brindar una evaluación o estudio acertado de datos y de sistemas o procesos, ya que se puede requerir de la incertidumbre y la fiabilidad en un estudio.*

*El resultado de la aplicación de la guía fue aceptable, ya que obtuvimos una fiabilidad y una disponibilidad del sistema representativas. Para nuestro cálculo no se tiene la necesidad de usar datos con incertidumbres porque nuestro principal dato es el # de fallas en cierta cantidad de horas. Pero sí hay datos que se piden que como temperaturas, medición voltaje y resistencias, pero estos ya tienen calculada su incertidumbre por las personas que trabajan con ese equipo y no son relevantes para nuestro caso específico del cálculo de fiabilidad.*

*La aplicación es poco complicada pero extensa, ya que se puede hacer desde un análisis superficial hasta uno muy profundo.*

*Por medio de nuestra lista de evaluación del diagrama de bloque y sus resultados, podemos ver que se trató de abarcar todos los puntos de la guía en 80.95%, aunque no todas las configuraciones de diagramas de bloque, ya que para hacer uso de todas las formas y casos que se pueden dar en diferentes sistemas se hubiera tenido que hacer un ejemplo para cada diferente tipo de configuración.*

*Se concluye que la aplicación de la guía de aplicación de diagramas de bloque para modelos de fiabilidad en el caso de calibración de temperatura, es una herramienta muy práctica, sencilla y fácil de usar para ingenieros que deseen determinar fiabilidades desde procesos sencillos hasta los complejos. También puede usarse como complemento al cálculo de incertidumbres de los datos que puedan haber en el sistema a evaluar, ya que siempre nos preguntarán las tolerancias de los dispositivos y si no las hay tenemos que calcularlas.*

## VI. BIBLIOGRAFÍA

### A. Bibliografía en libros

Burden, R. L y Faires, J. D. Análisis Numérico. México, D. F.  
1989 editorial Iberoamericana, S. A de C. V. 720pp.

Calabro, S. Reliability Principles and Practices. McGraw- Hill, NY.  
1962

Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. First  
1993 edition, ISBN 92-67-10188-9, International  
Organization for Standardization, Switzerland 101pp.

Manual del Ingeniero Mecánico de Marks. 2da edición en  
1992 español. Vol III. McGraw-Hill/ Interamericana de México, S. A. de C.V.

Mendenhall, W. Introducción a la probabilidad y la estadística.  
1987 México, D.F Editorial Iberoamericana, S. A de C.V.  
626 pp.

Taylor, B. M. y Kuyatt C. E. Guidelines for Evaluating and  
Expressing the uncertainty of NIST Measurement  
Results.  
1994 National Institute of Standards and Technology, NIST  
Technical Note 1297, 20pp.

### B. Bibliografía en internet

Amstadter, B. Reliability Mathematics. McGraw-Hill, NY.  
1971 (LeRC Library, TS173.A47)

Henley, E. Reliability Engineering and Risk Assessment. Prentice  
1981 Hall, Englewood Cliffs, NJ. 568pp. (CWRU Library,  
TS173.H47)

Lloyd, D. y Lipow, M. Reliability: Management, Methods and  
Mathematics. Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ. 528pp.  
(CWRU Library, TA168.L5)

MIL-HDBK-217. Reliability Prediction for Electronic Equipment.  
1986

MIL- HDBK- 472. Maintainability Prediction.  
1980

MIL-STD-785B. Reliability Program for Systems and Equipment.  
1986

NUREG-0492. Fault Tree Handbook. US. Nuclear Regulatory  
1981 Commission Washington, DC (LeRC SR&QA)

*Nota: MIL-STD-785B. Si fue consultada por estar disponible para la lectura, mientras que los otros se pueden ordenar vía internet.*

*Acrónimos:*

CWRU - Case Western Reserve University  
LeRC - NASA/ Lewis Research Center  
SR&QA - Safety, Reliability & Quality Assurance

## Anexo A - Notación de Fiabilidad

### Indice de Falla y Tiempo Medio Entre Fallas

#### Mean- Time-Between- Failures (MTBF)

$$\lambda = \text{Indice de Falla} = \frac{\# \text{ de Fallas}}{\text{Tiempo de Operación}} \quad \mu = \text{Indice de Reparación} = \frac{\# \text{ Reparados}}{\text{Tiempo de Operación}}$$

### Indice de Reparación y Tiempo Medio para Reparar

#### Repair Rate and Mean -Time- To- Repair (MTTR)

$$m = \text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} \quad r = \text{MTTR} = \frac{1}{\mu}$$

### Fiabilidad

R= Fiabilidad (Reliability)

Q=No Fiabilidad = 1-R

t=Tiempo de misión

$$d = \text{Rendimiento del ciclo} = \frac{\text{Tiempo de Operación}}{\text{Tiempo de la Misión}}$$

Para distribuciones Exponenciales

$$R = e^{-\lambda t d} = e^{-\frac{t d}{m}}, \text{ es por eso, } \lambda = \frac{-\ln R}{t d} \quad t = \frac{-\ln R}{\lambda d} \quad m = \frac{-t d}{\ln R}$$

### Disponibilidad

A=Disponibilidad (Availability)

U=No Disponible = 1-A

A<sub>i</sub> (Inhrente) = MTBF / (MTBF + MTTR)

A<sub>o</sub> (operacional) = MTBF / (MTBF + MDT)

Es por eso

$$\text{MTTR} = \text{MTBF} (1-A) / A$$

### Expresiones Básicas de Probabilidad

Intersección (AND) :  $P_a \cap P_b = P_a * P_b$  (Eventos Independientes)

Unión (OR) :  $P_a \cup P_b = (P_a + P_b) - (P_a * P_b)$  (Eventos no mutuamente exclusivos)

**Probabilidad Condicional**

$R_s$  (éxito) =  $R_s$  (si  $x$  opera)  $R_x$  -  $R_s$  (si  $x$  falla)  $Q_x$  Donde,

$R_s$  = Fiabilidad del Sistema

$R_x$  = Fiabilidad de Dispositivo "x"

$Q_x$  = No Fiabilidad de Dispositivo "x"

$R_s$  (si  $x$  opera) = Sistema con "x" remplazos por una linea

$T_x$  (si  $x$  falla) = Sistema con "x" removidos

## ANEXO B- CONFIGURACIÓN DE FORMULAS DE CALCULO

<u>Configuración del sistema</u>	<u>Diagrama de bloque</u>	<u>Expresión booleana</u>	<u>Modelo matemático</u>	<u>Ecuación general</u>	<u>Ecuación específica del sistema Para R1</u>
<u>Serie</u>		$Ra \cap Rb$	$Ra * Rb$	$\prod_{i=1}^n R_i$	$1/2 : 2R - R^2$ $1/3 : 3R - 3R^2 + R^3$ $1/4 : 4R - 6R^2 + 4R^3 - R^4$ $1/5 : 5R - 10R^2 + 10R^3 - 5R^4$
<u>Paralelo simple</u>		$Ra \cup Rb$	$(Ra + Rb)$ $-(Ra * Rb)$	$1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$	$2/3 : 3R^2 - 2R^3$ $2/4 : 6R^2 - 8R^3 + 3R^4$ $3/4 : 4R^3 - 3R^4$ $2/5 : 10R^2 - 20R^3 + 15R^4 - 4$ $3/5 : 10R^3 - 15R^4 + 6R^5$ $4/5 : 5R^4 - 4R^5$
<u>Paralelo m de n</u>		$(Ra \cap Rb) \cup$ $(Ra \cap Rc) \cup$ $(Rb \cap Rc)$	$Ra * Rb$ $+ Ra * Rc$ $+ Rb * Rc$ $- 2Ra * Rb * Rc$	$\sum_{i=m}^n \frac{n!}{i! (n-i)!} R_i^i (1 - R_i)^{n-i}$	
<u>Series paralelas</u>		$(Ra \cap Rb) \cup$ $(Ra \cap Rb)$	$2Ra * Rb$ $- Ra^2 * Rb^2$		$1/2 : 2R^2 - R^4$
<u>Paralelos en serie</u>		$(Ra \cup Ra) \cap$ $(Rb \cup Rb)$	$(2Ra - Ra^2) *$ $(2Rb - Rb^2)$		$1/2 : 4R^2 - 4R^3 + R^4$

Notas:  $m$  de  $n$  = Dispositivos requeridos para el éxito de la misión en  $m$  de  $n$

$2/3$  =Dispositivos requeridos para el éxito de la misión en  $m$  de  $n$

$R_i$  =Fiabilidad del dispositivo  $i$

## ANEXO C - REDUNDANCIA DE PARALELO SIMPLE

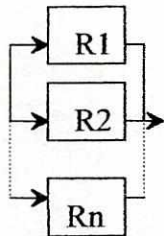
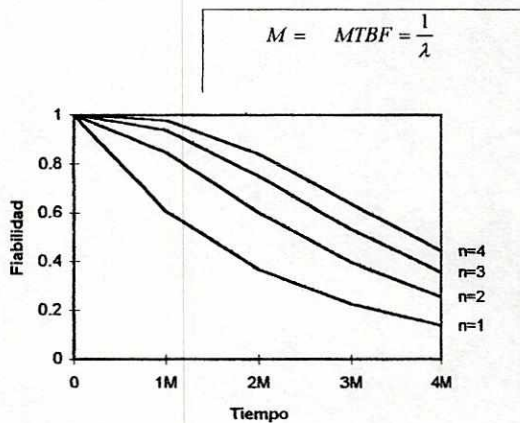


DIAGRAMA DE BLOQUES DE FIABILIDAD

Grafica 1



FUNCIÓN DE FIABILIDAD PARA UNA CONFIGURACION DE PARALELO SIMPLE, CON FIABILIDADES DE BLOQUE IGUALES

### APLICACION

Para equipo de operación continua, provee protección contra fallas irreversibles del equipo físico.

### MODELO MATEMATICO

Forma general

$$R = 1 - \prod_i^n (1 - R_i)$$

Para bloques idénticos

$$R = 1 - (1 - R_i)^n$$

Para distribución exponencial

$$R = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n$$

Para  $\lambda t$  pequeños

$$R = 1 - (\lambda t)^n$$

Donde:

$n$  = # de elementos en paralelo

$R$  = fiabilidad

$\lambda$  = índice de falla

$t$  = tiempo de la misión

### Ventajas:

- Simplicidad
- Aumento significativo de la fiabilidad con elementos no redundantes
- Aplicación en circuitos análogos y digitales

### Desventajas:

- Consideración en compartir la carga
- Sensibilidad en la división del voltaje a través de los elementos
- Posible propagación de fallas
- Problemas en el diseño del circuito

# Cálculos de Fiabilidad de Paralelo Simple

Forma General

$$R = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i)$$

Para Lambdas pequeños -t

$$R = 1 - (\lambda t)^n$$

Para Bloques Idénticos

$$R = 1 - (1 - R_i)^n$$

Unit Reliability	0.98
No. of Parallel Units	3
System Reliability	0.999992

Para Distribución Exponencial & Bloques Idénticos

$$R = 1 - (1 - e^{-\lambda t})^n$$

Indice de Falla

5.00E-06

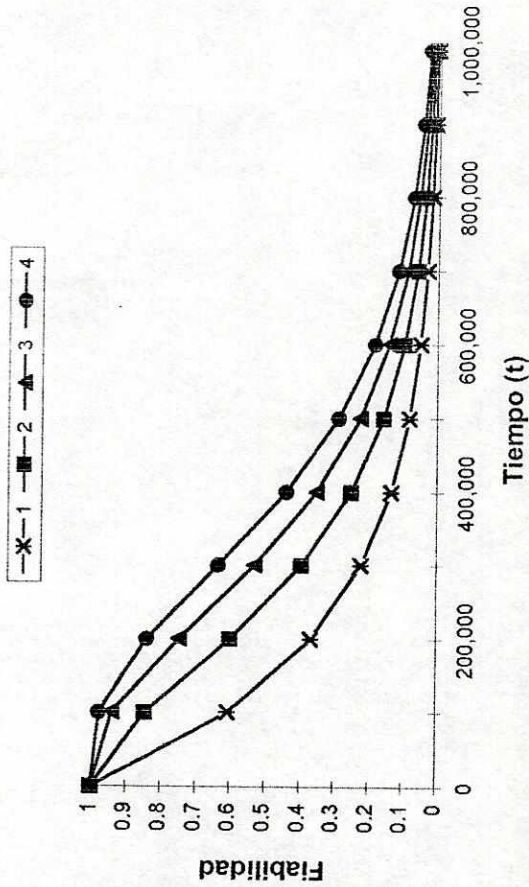
Tiempo Total:

1.00E+06

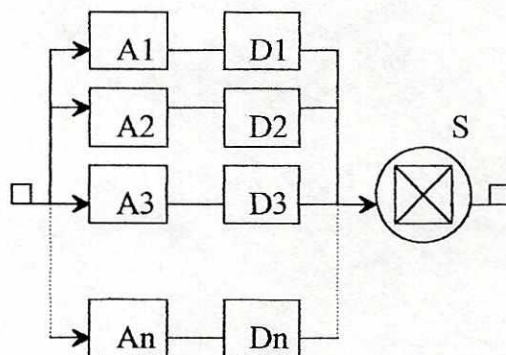
Time (t)	Fiabilidad para un Número de Bloques Idénticos			
	1	2	3	4
0	1	1	1	1
100,000	0.6065307	0.8451819	0.9390838	0.9760313
200,000	0.3678794	0.6004236	0.7474195	0.8403387
300,000	0.2231302	0.3964733	0.5311383	0.6357555
400,000	0.1353353	0.2523549	0.3535377	0.4410268
500,000	0.082085	0.1574321	0.2265942	0.2900793
600,000	0.0497871	0.0970954	0.1420484	0.1847633
700,000	0.0301974	0.0594829	0.087884	0.1154276
800,000	0.0183156	0.0362958	0.0539467	0.0712742
900,000	0.011109	0.0220946	0.0329581	0.043701
1,000,000	0.0067379	0.0134305	0.0200779	0.0266806

GRAFICA 2

Fiabilidad de paralelo simple



## ANEXO D - REDUNDANCIA DE RESERVA



DIAGRAMAS DE BLOQUES DE FIABILIDAD

APLICACION

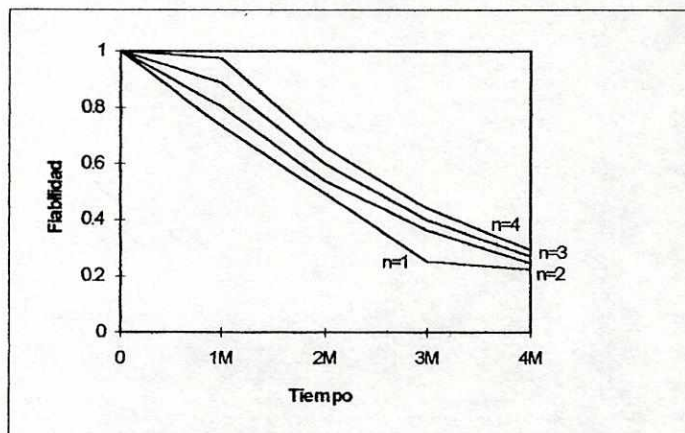
Esta configuración utiliza una redundancia de modo simple con un sensor [Dn] en cada unidad, el cual posee la capacidad de cambiar cuando una falla es detectada. Se utiliza cuando se quiere evitar un tiempo largo de inicio y una sola salida puede ser tolerada. Esta técnica tal vez sea reconfigurada a una técnica de redundancia de reserva alterando el arreglo de los switch, activando los elementos como ellos hagan un circuito.

MODELO MATEMATICO

Redundancia operacional

$$R = e^{-\lambda t} \sum_{n=0}^{n=1} \frac{(\lambda t)^n}{n!}$$

Gráfica 3



FUNCION DE FIABILIDAD DE REDUNDANCIA DE RESERVA

$\lambda$  = Índice de falla de A y D  
(asumiendo la fiabilidad del detector de errores y de los switch = 1)

Redundancia de reserva

$$R = e^{-\lambda t} \left[ 1 + \frac{\lambda}{\lambda_s} (1 - e^{-\lambda_s t}) \right]$$

Donde:

$n$  = # de elementos en paralelos

$\lambda$  = Índice de falla de los elementos

$\lambda_s$  = Índice de falla del switch

$R$  = Fiabilidad

$t$  = Tiempo de la misión

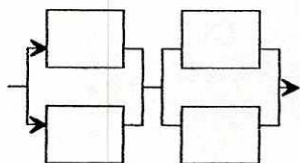
#### Ventajas

- Se aplica a circuitos análogos y digitales
- Muy efectivo para modos de falla intermitentes

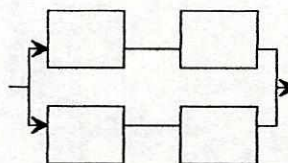
#### Desventajas

- Retraso en la detección y la conexión del switch
- Debido a los modos de falla de los dispositivos de conexión del switch y los sensores, la ganancia de fiabilidad son limitadas
- Debido a los dispositivos de conexión de switch y sensores, aumenta la complejidad del sistema

## ANEXO E - REDUNDANCIA BIMODAL



PARALELOS EN SERIE



SERIES EN PARALELO

APLICACION

Es aplicable principalmente a nivel donde se requiere una protección corta y abierta.

MODELO MATEMATICO**Para bloques idénticos**

Paralelos en serie  $R = 4R_i^2 - 4R_i^3 + R_i^4$

Series en paralelo  $R = 2R_i^2 - R_i^4$

**Para distribución exponencial**

Paralelos en serie  $R = 4e^{-2\lambda t} - 4e^{-3\lambda t} + e^{-4\lambda t}$

Series en paralelo  $R = 2e^{-2\lambda t} - e^{-4\lambda t}$

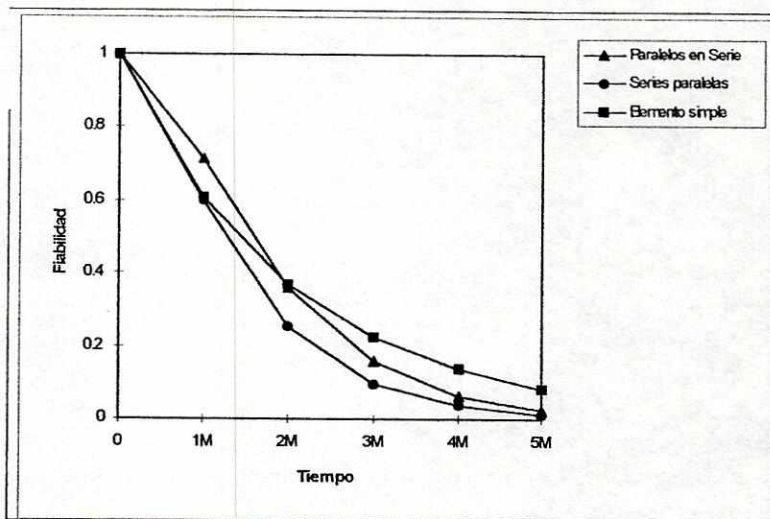
Donde:

$\lambda$  = Índice de falla

R = Fiabilidad

t = Tiempo de la misión

Gráfica 4



#### FUNCION DE FIABILIDAD PARA UNA CONFIGURACION BIMODAL

##### Ventajas

- En el nivel de la etapa de tiempos de misión cortos, tendremos una ganancia significativa de la fiabilidad

##### Desventajas

- Difícil de diseñar
- Es restringida para dividir y/o aplicaciones de la etapa

## ANEXO F - REDUNDANCIA DUPLEX

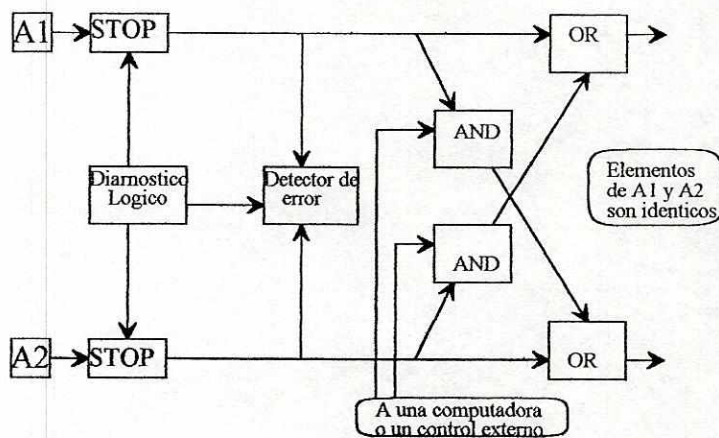


DIAGRAMA DE BLOQUES DE FIABILIDAD

APLICACION

Esta técnica es aplicada a circuitos digitales de computadora con el objetivo de prevenir que elementos lógicos incorrectos transformen otros circuitos.

MODELO MATEMATICO

$$R = P_{ED} P_{DL} (2P_A P_{SW} - (P_A P_{SW})^2) * (2P_3 * P_3^2)$$

Donde:

$$P_3 = P_{GO1} + P_{GO2} * P_A - P_{GO1} * P_{GO2} * P_{GA}$$

Donde:

$P_{ED}$  = Fiabilidad del detector de errores

$P_{DL}$  = Fiabilidad del diagnóstico lógico

$P_A$  = Fiabilidad del elemento

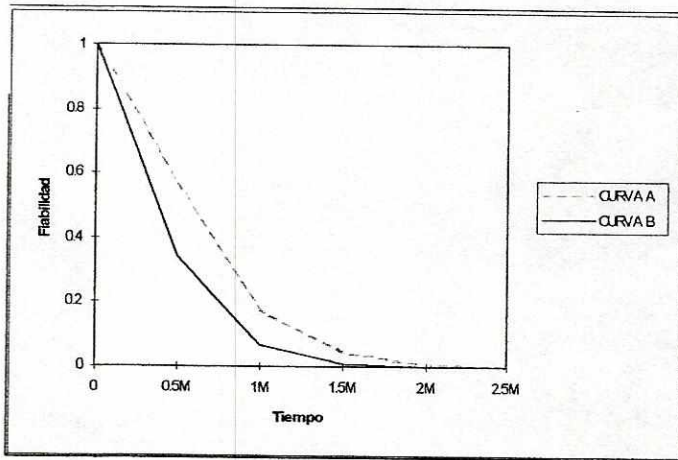
$P_{SW}$  = Fiabilidad del switch de parar

$P_{GO1}$  = Probabilidad de que pase la primera entrada, la puerta de "OR"

$P_{GO2}$  = Probabilidad de que pase la segunda entrada, la puerta de "OR"

$P_{GA}$  = Fiabilidad de la puerta de "AND"

Gráfica 5



Curva A

La fiabilidad del detector de error y el diagnóstico lógico es 1.0

Curva B

Combinados los índices de falla del detector de error y el diagnóstico lógico es 0.5

#### FUNCION DE FIABILIDAD DE REDUNDANCIA DUPLEX

##### Ventajas:

- Se aplica a modos activos redundantes, elementos separados y redundancia duplex
- Mantiene una función para fallas de  $n-1$
- Protege contra modos abiertos y cortos de falla
- Pueden ser reparadas las unidades que tengan falla, sin interrumpir el sistema

##### Desventajas:

- Requiere de un programa de diagnóstico
- Aumento de complejidad por los sensores y los switch
- Los requerimientos de capacidad de almacenamiento puede aumentar debido a los requerimientos redundantes de información.

## ANEXO G - REDUNDANCIA POR MAYORIA DE VOTOS

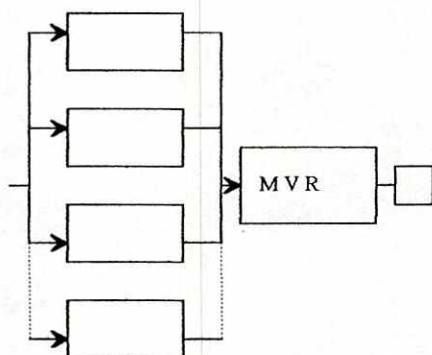


DIAGRAMA DE BLOQUES DE FIABILIDAD

### APLICACION

Generalmente son usados en circuitos lógicos, ya sea para operaciones continuas o intermitentes y donde se requiere un alto grado de fiabilidad.

### MODELO MATEMATICO

Forma general

$$R_s = R_v \left[ \sum_{i=m}^n \left( \frac{n!}{i!(n-i)!} \right) R_E^i (1 - R_E)^{n-i} \right]$$

Para distribución exponencial

$$R_s = e^{-\lambda_v t} \left[ \sum_{i=m}^n \left( \frac{n!}{i!(n-i)!} \right) e^{-\lambda_E t} (1 - e^{-\lambda_E t})^{n-i} \right]$$

Para  $\lambda t$  pequeños

$$R = e^{-\lambda_v t} \left[ \left( \frac{n!}{i!(n-i)!} \right) (\lambda t)^m \right]$$

Donde:

$n$  = # de elementos redundantes

$m$  = # requerido de (1+ entero ( $n/2$ ))

$R_s$  = fiabilidad del sistema

$R_E$  = fiabilidad del elemento

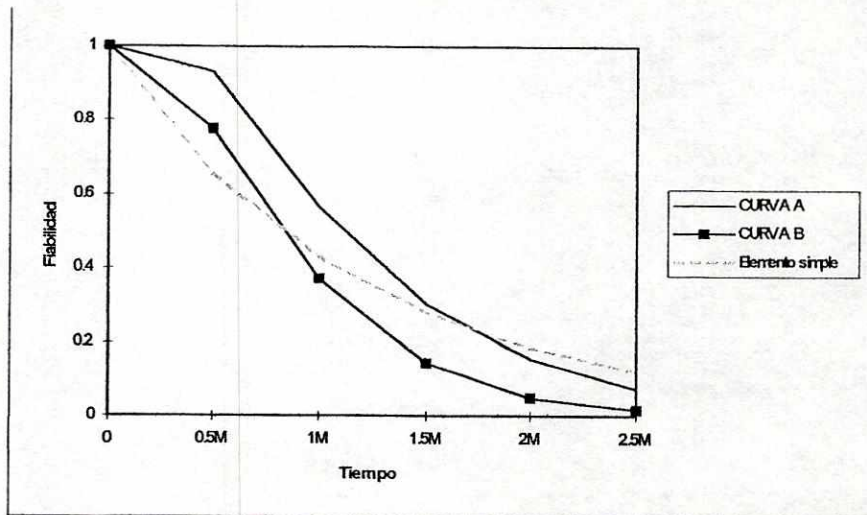
$R_V$  = fiabilidad del votante

$\lambda_E$  = índice de falla del elemento

$\lambda_V$  = índice de falla del votante

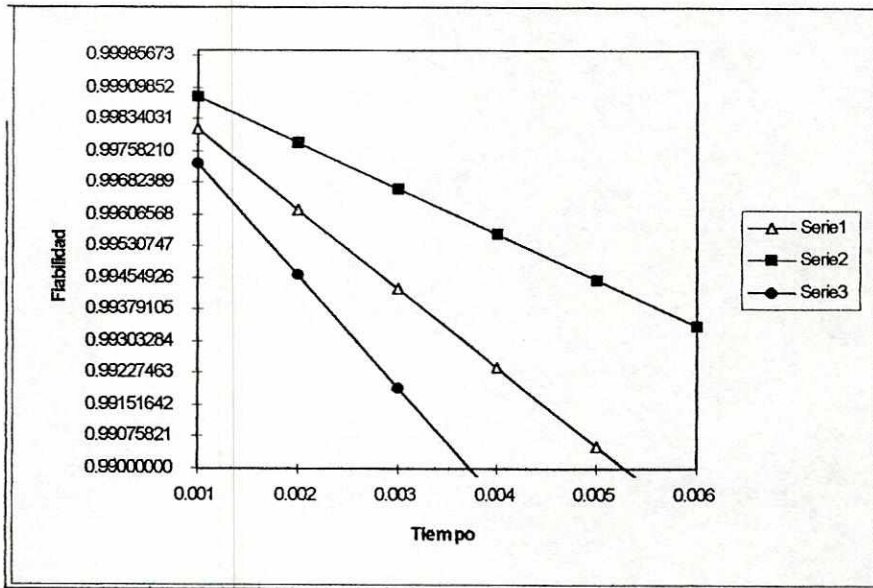
$t$  = tiempo de la misión

Gráfica 6



FUNCION DE FIABILIDAD PARA REDUNDANCIA POR MAYORIA DE VOTOS

Gráfica 7



*FUNCION DE FIABILIDAD PARA TIEMPO DE MISION MENOR A UN MTBF*

*Ventajas:*

- *Puede darse identificación de elementos defectuosos*
- *Para tiempos cortos de misión hay aumento significativo de la fiabilidad (menores que un MTBF)*

*Desventajas:*

- *La fiabilidad del votante debe ser mucho mejor que la de los bloques*
- *Para tiempo largos de misión, la fiabilidad es baja ( mayores de un MTBF)*

**ANEXO H - FORMA DE CALCULO DE FIABILIDAD DEL DIAGRAMA DE BLOQUE**

Nombre del sistema:						Revisión / Fecha:				
Fase de la misión:						Configuración:				
Tiempo de la misión:										
Preparado por:						Fecha:				
Ident/ Fecha	MTBF	FD	DC	DS	R	Q	MTTR	DS	A	U

NOTA:

FD = Distribución de falla : E -Exponencial, W -Weibull, N - Normal, G - Gamma

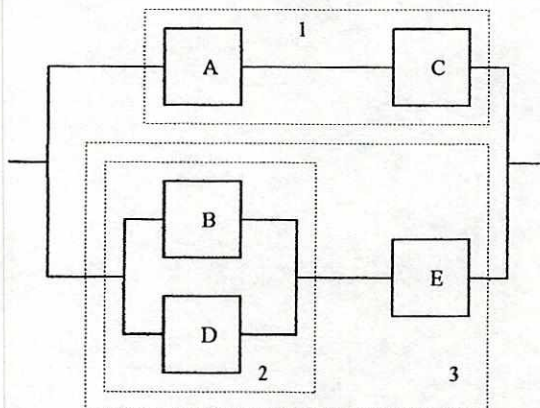
DC = Ciclo de rendimiento

DS = Fuente de información: pegar hoja de código

## ANEXO I - REDUCCION DEL DIAGRAMA DE BLOQUES DE FIABILIDAD

<b>Nombre del sistema:</b> ORU-6	<b>Revisión / Fecha:</b> B / 15 Agosto 96
<b>Fase de la misión:</b> En órbita	<b>Configuración:</b> Todas las funciones estan
<b>Tiempo de la misión:</b> 9681 horas	<b>disponibles durante la misión</b>
<b>Preparado por:</b> MEGA	<b>Fecha:</b> 15 Septiembre 96

Ident/ Fecha	MTBF (hrs)	FD	DC	DS	R	Q	MTTR (hrs)	DS	A	U
A	100,000	E	1	A1	0.9161	0.0839	100	A3	0.999	0.0001
B	10,000	E	1	A2	0.4164	0.5836	60	A2	0.994	0.006
C	50,000	E	1	A4	0.8393	0.1607	80	A5	0.9984	0.0016
D	10,000	E	1	A2	0.4164	0.5836	60	A2	0.994	0.006
E	20,000	E	1	A4	0.6453	0.3547	100	A5	0.995	0.005

PARTICION DEL RBD  
Y SECCIONES POR NIVELES

$$R_1 = R_A * R_C$$

$$R_2 = 1 - [(1 - R_B)(1 - R_D)] = R_B + R_D - R_B * R_D$$

$$R_3 = R_2 * R_E$$

**FORMACION DEL MODELO DEL SISTEMA:**

$$R_S = 1 - [(1 - R_1)(1 - R_3)] = R_1 + R_3 - R_1 * R_3$$

Donde:

$$R_1 = R_A * R_C \text{ y}$$

$R_3 = R_2 * R_E$  entonces  $R_S$  nos queda de la siguiente forma:

$$R_S = (R_A * R_C) + (R_2 * R_E) - (R_A * R_C) * (R_2 * R_E)$$

$$R_S = (R_A * R_C) + (R_2 * R_E) - R_A * R_C * R_2 * R_E$$

Donde:

$R_2 = R_B + R_D - R_B * R_D$  luego haciendo esta última sustitución  $R_S$  nos queda de la siguiente manera:

$$R_S = R_A * R_C + \overbrace{R_B * R_E + R_D * R_E - R_B * R_D * R_E} -$$

$$\overbrace{(R_A * R_B * R_C * R_E) + (R_A * R_C * R_D * R_E)} -$$

$$\overbrace{(R_A * R_B * R_C * R_D * R_E)}$$

**CALCULO DE DE FIABILIDAD DEL SISTEMA**

$$R_S = (.9161 * .8393)(.4164 * .6453) + (.4164 * .6453) - (.4164 * .4164 * .6453) - (.9161 * .4164 * .8393 * .6453) -$$

$$(.6191 * .8393 * .4164 * .6453) + (.9161 * .4164 * .8393 * .4164 * .6453) = \underline{\underline{0.7104}}$$

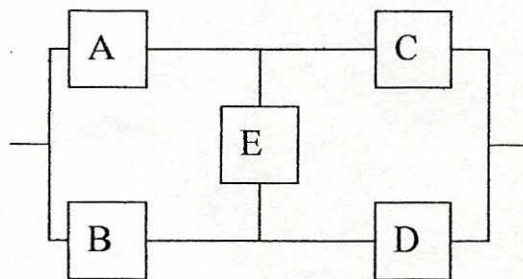
Remplazamos las fiabilidades con disponibilidades para calcular la disponibilidad:

$$A_S = (.9990 * .9984) + (.9940 * .9950) + (.9940 * .9950) - (.9940 * .9940 * .9950) - (.9990 * .9940 * .9984 * .9950) -$$

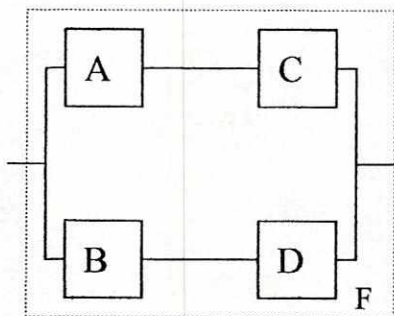
$$(.9990 * .9984 * .9940 * .9950) + (.9990 * .9940 * .9984 * .9940 * .9950) = \underline{\underline{0.99998}}$$

**ANEXO J - DESCOMPOSICION DEL DIAGRAMA DE BLOQUES DE FIABILIDAD**

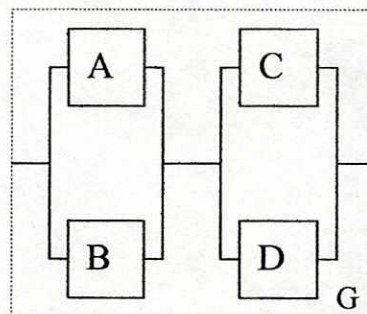
**RBD COMPLEJO**



**Usando el dispositivo E para aplicar probabilidad condicional**



*Dispositivo E falla*



*Dispositivo E funciona*

$$R_F = R_A * R_C + R_B * R_D - R_A * R_B * R_C * R_D$$

$$R_G = (R_A + R_B - R_A * R_B) * (R_C + R_D - R_C * R_D)$$

**MODELO MATEMATICO DEL SISTEMA**

*Aplicando la fórmula de probabilidad condicional*

$$R_S = Q_E * R_F + R_E * R_G$$

$$R_S = Q_E * R_A * R_C + Q_E * R_B * R_D - Q_E * R_A * R_B * R_C * R_D + R_E [(R_A + R_B - R_A * R_B) * (R_C + R_D - R_C * R_D)]$$

**ANEXO K - CONVERSIONES DE DIAGRAMAS  
DE BLOQUE Y DIAGRAMAS LOGICOS**

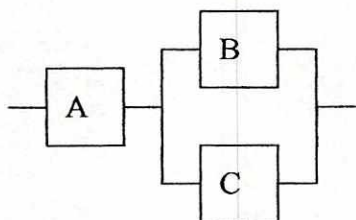


DIAGRAMA DE BLOQUE

Regla de deMorgan

1. Cambio de uniones e intersecciones

$$\cup \rightarrow \cap$$

$$\cap \rightarrow \cup$$

2. Complemento de todas las probabilidades

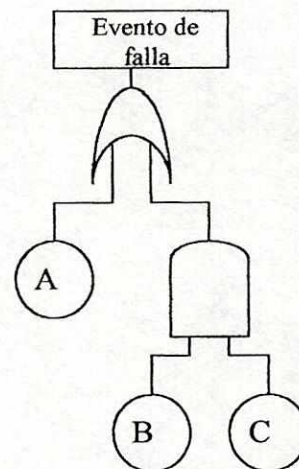
$$R \rightarrow \bar{R} = Q$$

Usando la regla de deMorgan tenemos:

$$R_S = R_A \cap (R_B \cup R_C) \leftrightarrow Q_S = Q_A \cup (Q_B \cap Q_C)$$

$$R_S = R_A (R_B + R_C - R_B R_C) \leftrightarrow Q_S = Q_A + Q_B Q_C - Q_A Q_B Q_C$$

Usando  $Q=1-R$  puede mostrarse que  $R_S = 1 - Q_S$



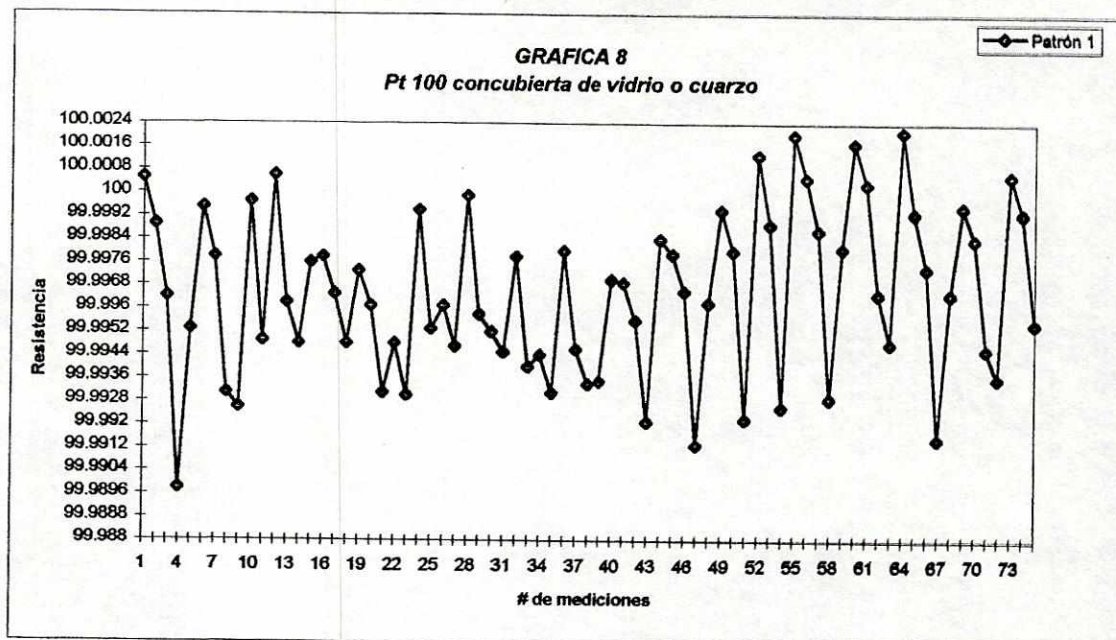
ARBOL DE FALLA

**ANEXO L - LISTA PARA EVALUACION DEL DIAGRAMA DE BLOQUE**

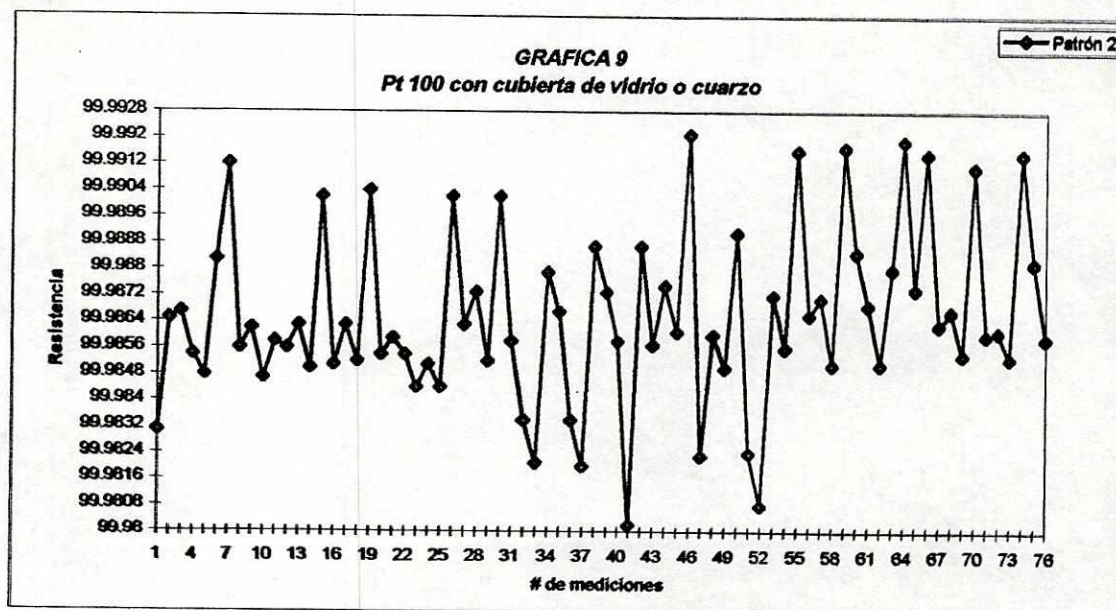
- *La declaración de la misión es clara y concisa?*
- *Es suficiente el nivel de detalle ?*
- *El análisis contiene detalle para fallas críticas o lógicas de la misión, como se requiere?*
- *Las suposiciones y reglas son de base definidas y creíbles?*
- *Son incluidas suposiciones específicas?*
- *Las fallas comunes están anotadas en las suposiciones?*
- *La localización de fallas está hecha en contra metas específicas de diseño?*
- *Los bloques están identificados clara y totalmente identificados?*
- *Las fallas de los bloques son independientes de cada uno?*
- *Todas las interdependencias están indicadas en el diagrama de bloques?*
- *El diagrama de bloque está siguiendo la configuración correcta del sistema?*
- *Son los circuitos de tipo switch e interconexiones modelados apropiadamente?*
- *Se muestran en el diagrama los dispositivos de BITE y ATE?*
- *Se encuentra el modelo matemático claramente derivado?*
- *Están indicadas la distribución de fallas?*
- *Se está usando una computadora para facilitar los cálculos y permitir así evaluar mayor configuración?*
- *Hay alguna evaluación de los resultados del análisis?*
- *Se evaluaron varias configuraciones y se explica porqué su aprobación o rechazo?*

- *Se consideró otros factores además de la fiabilidad para aprobar o rechazar una configuración?*
- *Los resultados son usados en disponibilidad o mantenimiento?*
- *Para determinar fuentes de grandes mejoras de la fiabilidad del sistema se hizo un análisis de sensibilidad?*

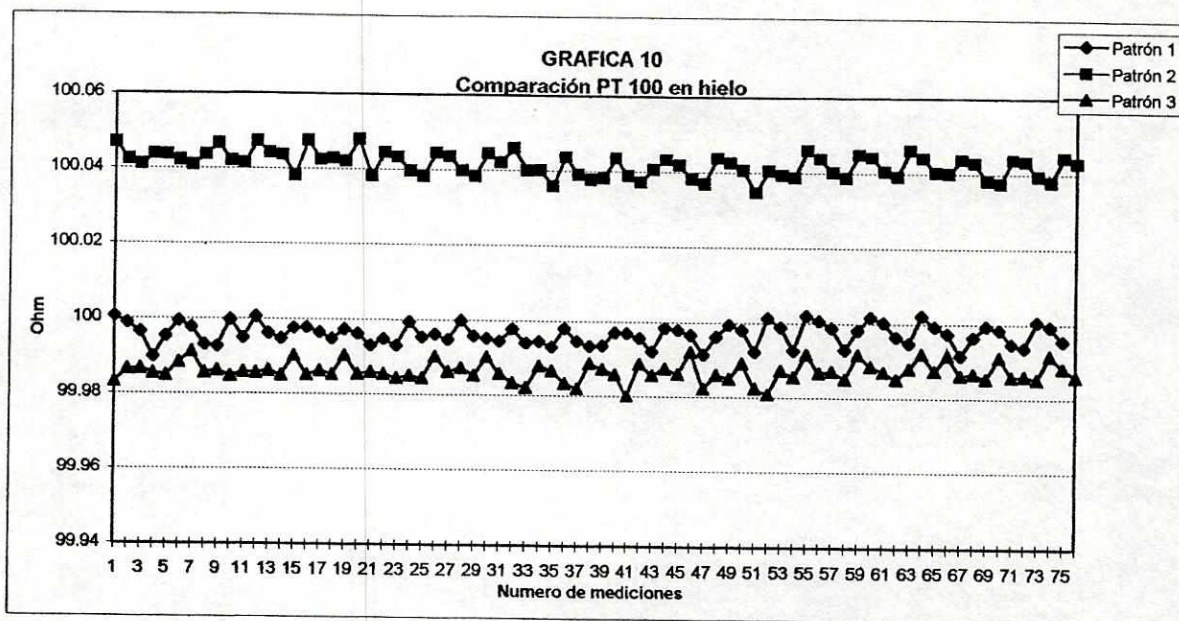
Anexo M - Gráficas de comparación de patrones PT100



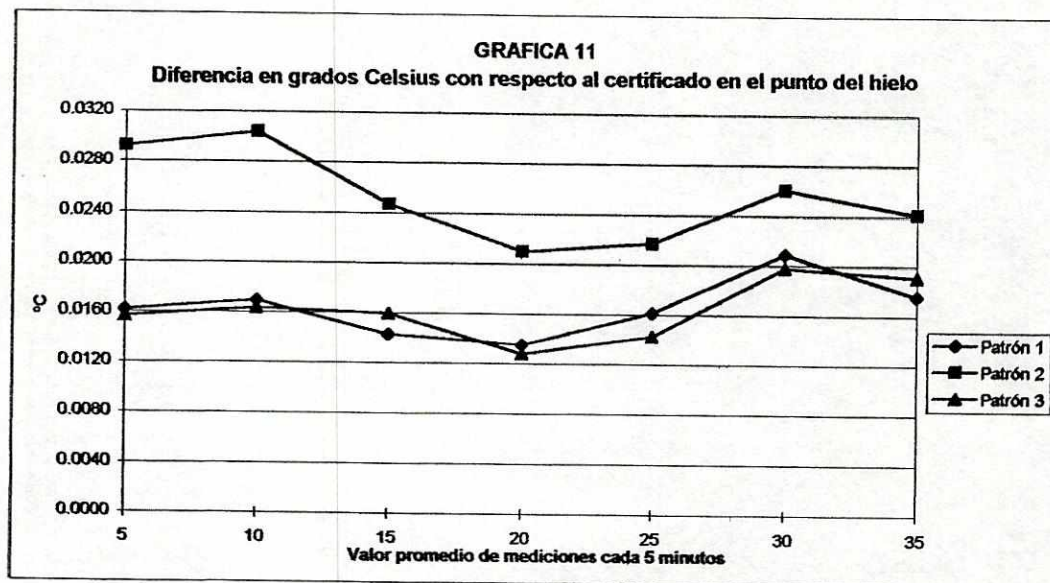
Esta gráfica representa los valores de la resistencia alrededor del valor del certificado del patrón el valor cero del patrón # 1 es 99.9898



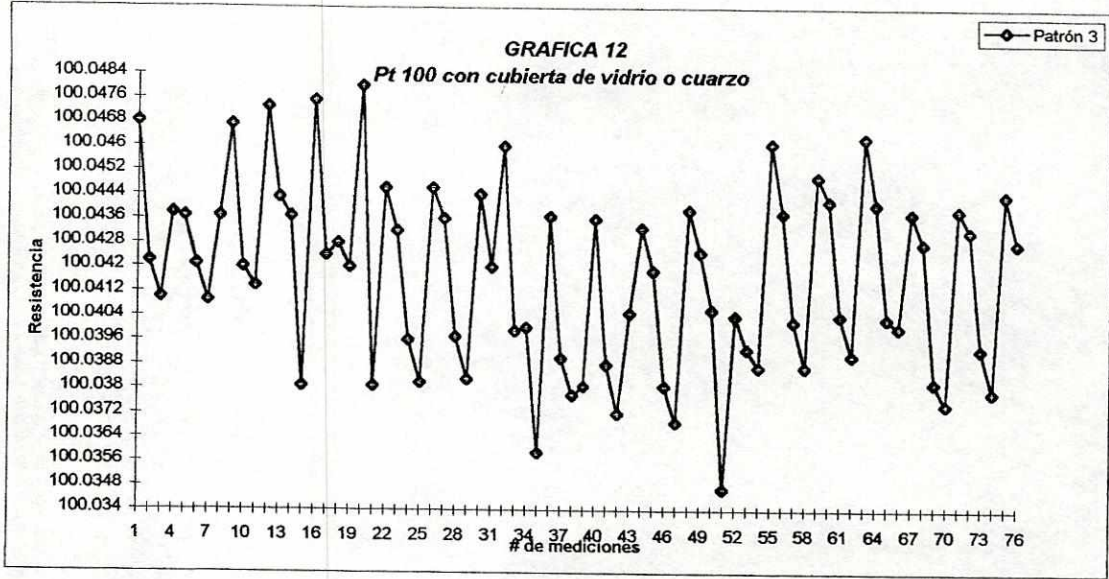
Esta gráfica representa los valores de la resistencia alrededor del valor del certificado del patrón el valor cero del patrón # 1 es 99.98



Esta gráfica representa la comparación de los tres patrones y el punto cero de cada uno, estos valores en Ohms hay que convertirlos a grados celsius como se representan en la gráfica siguiente.



Esta gráfica representa, ya transformadas las resistencias a valores de grados celsius y las diferencias que existen entre los puntos cero de cada patrón, ya mostrados en las gráficas anteriores.



Esta gráfica representa los valores de la resistencia alrededor del valor del certificado del patrón el valor cero del patrón # 1 es 100.0345

**Anexo N-Datos proporcionados por laboratorio de metrología para  
la aplicación de la guía**

Los parámetros de medición de esta misión son:

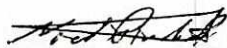
- Temperatura
- Resistencia eléctrica

Las tolerancias de medición de esta misión son:

- Patrones de platino o sensores: 100 m kelvin
- Multímetros:  $0.025^{\circ}\text{K}$  por el factor  $RDT = \frac{0.4\Omega}{1\text{K}}$
- Baño de temperatura: 50 mkelvin
- Entorno o ambiente:  $\pm 5^{\circ}\text{K}$  Temperatura ambiente sin complicaciones.

Los parámetros de funcionamiento de la misión los define cada elemento y, en este caso son:

- Patrones de platino (sensores):  $0^{\circ}\text{C}$  a  $400^{\circ}\text{C}$
- Multímetros: 0 a  $0.2\text{K}\Omega$
- Baño de temperatura:  $-10$  a  $180^{\circ}\text{C}$
- Temperatura ambiente:  $20^{\circ}\text{C}$  a  $5^{\circ}\text{C}$



Ing. Noel Francisco Prado Barragán



Ing. Eduardo Bancos Recinos.

Ing. Noel Prado  
METROLOGIA  
ICAITI



Dispositivos	MTBF (hrs)	DC	MTTR (hrs)
Baño de temperatura	26,280	1	168
Patrón a calibrar	8,760	1	720
Patrón de platino	4,380	1	720
Multímetro 1	17,520	1	720
Multímetro 2	17,520	1	720

**Todos los datos presentados en este anexo cuentan con la aprobación del laboratorio de metrología del ICAITI.**

*Noel Prado*

Ing. Noel Francisco Prado Barragán

*Eduardo Bances Recinos*

Ing. Eduardo Bances Recinos.

Ing. Noel Prado  
METROLOGIA  
ICAITI



**ANEXO Ñ - GLOSARIO****• Disponibilidad, Operacional**

*Es muy posible que un sistema presentará sus funciones específicas cuando sea usado bajo condiciones establecidas en un verdadero ambiente de apoyo. MDT es usado para representar este tiempo fuera de uso o no disponible.*

**• Disponibilidad, Inerte**

*Es la probabilidad que un sistema presentará sus funciones específicas cuando es usado bajo condiciones de ambiente ideal. Esto excluye la consideración de un período fuera de uso (down time) preventivo o administrativo. MTTR es usado para representar este tiempo fuera de uso.*

**• Fiabilidad básica**

*Es la probabilidad de que un dispositivo quede libre de fallas durante un intervalo de tiempo específico bajo condiciones establecidas.*

**• Fiabilidad de la misión**

*Es la probabilidad de que un dispositivo cumpla sus funciones requeridas durante el perfil de la misión establecido.*

- *Índice de falla*

*El número total de fallas dentro de un punto de población, dividido dentro del tiempo total de operación de esa población, dentro de un intervalo particular de medición, bajo condiciones establecidas.*

- *Índice de reparación*

*Es el inverso del MTTR. Este número es usado para calcular la fiabilidad inerte.*

- *Misión*

*Es el evento o proceso que se quiere evaluar desde su principio hasta el final.*

- *Perfil de la misión*

*Un tiempo basado en la descripción de los eventos y ambientes que un elemento experimental desde el inicio hasta el complemento de una misión específica, para incluir el criterio del éxito de la misión o fallas críticas.*

- *Tiempo de la misión*

*Es el tiempo que tarda todo el evento o proceso ( en este caso sería, el tiempo que se tarda una calibración de termómetros).*

- *Tiempo promedio fuera de uso( Mean Downtime, MDT)*

*Es el tiempo total que un elemento no está disponible, dividido por el número total de veces que el elemento se vuelve no disponible. Este número es usado para calcular la disponibilidad operacional.*

- *Tiempo promedio entre fallas (Mean Time Between Failures, MTBF)*

*Es el inverso del índice de falla.*

- *Tiempo promedio para reparar (Mean Time To Repair, MTTR)*

*Es la suma de las veces que se hace mantenimiento correctivo en cualquier nivel de reparación, dividido entre el número de fallas dentro de un elemento reparado a ese nivel, durante un intervalo particular, bajo condiciones establecidas.*