

Manual para la localización lógica de fallas y su corrección de equipo para la salud

Serie PALTEX para técnicos medios y auxiliares



Serie PALTEX para técnicos medios y auxiliares No. 13



**MANUAL PARA LA LOCALIZACION
LOGICA DE FALLAS Y SU CORRECCION
DE EQUIPO PARA LA SALUD**

ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

1989

Copyright © Organización Panamericana de la Salud 1989
ISBN 92 75 71023 6

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o transmitida en ninguna forma y por ningún medio electrónico, mecánico, de fotocopia, grabación u otros, sin permiso previo por escrito de la Organización Panamericana de la Salud.

Publicación de la
ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD
Oficina Sanitaria Panamericana, Oficina Regional de la
ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD

525 Twenty-third Street, N.W.
Washington, D.C. 20037. E.U.A.

1989

INDICE

PREFACIO	
INTRODUCCION	
AGRADECIMIENTOS	
CAPITULO I. GENERALIDADES	1
El ABCDE para aprender a utilizar los instrumentos	1
Panorama general	1
Descripción general de instrumentos	5
CONCLUSIONES	6
CAPITULO II. LOCALIZACION ESPECIFICA DE LAS FALLAS	7
Análisis de los síntomas (datos) generados por las fallas	7
Técnicas para la localización específica de las fallas	9
Localización restringida a una función	9
Estrategias generales para realizar pruebas y mediciones	10
Aislamiento a un circuito	11
Localización del componente defectuoso	11
Corrección de la falla	11
CAPITULO III: EQUIPO DE PRUEBA Y MEDICIONES	13
Tipos de errores o problemas de medición	13
Características del objeto que se va a medir	14
Exactitud y precisión	14
Sensibilidad	15
Resumen de las definiciones de los términos más comunes	15
Procedimiento de medición eléctrica	16
Parámetros a medir	16
Instrumentos de prueba o de medición	17
CAPITULO IV. COMPONENTES Y SUS CARACTERISTICAS	19
Resistores	19
Características de los resistores variables	19
Características de los resistores fijos	20
Capacitores	21
Celdas	22
Semiconductores	22
Diodos	22
Transistores	22
Circuitos integrados	23
Fusibles	23
APENDICE A. CARACTERISTICAS ESENCIALES DE LOS TRANSISTORES	31
SCR (RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO)	31
TRANSISTORES	32
APENDICE B. CONOCIMIENTOS SOBRE FUSIBLES	35
Datos sobre fusibles	35

APENDICE C. COMO EVITAR FALLAS PROVOCADAS POR LOS COMPONENTES PASIVOS	41
CAPACITORES	41
Absorción dieléctrica	42
Parasíticos y factor de disipación	43
Tolerancia, temperatura y otros efectos	44
Ensamble los componentes críticos al final	44
RESISTORES Y POTENCIOMETROS	45
Parasíticos en los resistores	47
Efectos termoeléctricos	47
Voltaje, fallas y envejecimiento	48
Ruido excesivo en el resistor	48
Potenciómetros	49
TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO	49
Efectos estáticos en tarjetas de circuito impreso	49
Efectos dinámicos en tarjetas de circuito impreso	51
NO DESCUIDE NADA	51
REFERENCIAS	52
APENDICE D. CELDAS	53
BATERIAS	54
Selección de una batería apropiada	54
BATERIAS PRIMARIAS (SECAS)	54
Carbono-Zinc (CZn).	57
Bióxido de Manganeso-Zinc (Alcalino)	57
Oxido de Mercurio y Zinc (Mercurio)	59
Oxido de Plata	59
Celdas de Litio	60
BATERIAS SECUNDARIAS	61
Baterías recargables alcalinas	62
CAPITULO V. INTERFERENCIA Y RUIDO	65
APENDICE A. COMPRENSION DEL RUIDO TIPO INTERFERENCIA	67
¿De qué tipo de ruido estamos hablando?	67
Suposiciones y procedimientos de análisis	67
El principio básico	68
Tipos de ruido en un sistema	69
RESUMEN	74
APENDICE B. BLINDAJE Y PROTECCION (GUARDA)	75
Ruido acoplado capacitivamente	75
Lineamientos para la aplicación de blindajes electrostáticos	76
Ruido resultante de un campo magnético	79
Blindajes de protección con voltaje ajustable (guardas impulsadas)	83
RESUMEN	84
BREVE BIBLIOGRAFIA	86
APENDICE C. INTERFERENCIA DE 60 HZ EN LA ELECTROCARDIOGRAFIA	87
Introducción	87
Fuentes de interferencia y criterios para el registro	87
Inducción magnética	89
Corrientes de desplazamiento hacia los cables	90
Corrientes de desplazamiento hacia el cuerpo	93

CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE REGISTRO Y DEL ELECTROCARDIOGRAFO	95
Interconexión del equipo	95
Especificaciones	96
Impedancia de entrada	96
Relación de rechazo de modo común (CMRR, por sus siglas en inglés)	98
Frecuencia de respuesta	99
Otros circuitos y modificaciones	100
REFERENCIAS	103
CAPITULO VI. NO COMPLIQUE MAS SUS PROBLEMAS	105
Area mecánica	105
Area eléctrica	106
Area de mediciones	107
APENDICE A. ELECTRICIDAD ESTATICA Y SEMICONDUCTORES	109
Qué tan severo es el problema	110
EJEMPLO I	110
EJEMPLO II	110
EJEMPLO III	111
Entendiendo el proceso	111
Triboelectricidad	111
Inducción	111
Carga Capacitiva	111
LOS TRES MITOS DE LA DES	112
Prevencción de la DES	114
CONCLUSIONES	116
CAPITULO VII. MEDIDAS DE SEGURIDAD	117
I. SEGURIDAD PARA EL LOCALIZADOR DE FALLAS	117
A. Riesgos de origen eléctrico	117
-Reglas de seguridad para evitar el choque eléctrico	117
B. Riesgos de origen mecánico	118
1. Herramientas eléctricas	118
2. Cilindros de gas comprimido	118
3. Levantamiento de equipo	118
C. Riesgos por radiación	118
D. Riesgos por calor (quemaduras)	119
E. Riesgos biológicos	119
II. SEGURIDAD DEL USUARIO	120
III. SEGURIDAD DEL PACIENTE	120
APENDICE A. LA CORRIENTE FATAL	121
Es la corriente: lo que mata	121
Efectos fisiopatológicos del choque eléctrico	121
¡PELIGRO; BAJO VOLTAJE!	122
¿Qué hacer en favor de las víctimas?	122
CAPITULO VIII. TECNICAS DE REPARACION	125
I. QUITAR COMPONENTES	125
II. INSTALACION DEL COMPONENTE	125
III. SUSTITUCION DE COMPONENTES	126

APENDICE A. REPARACION DE TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO	127
Introducción	127
Desmontar un componente	127
I. INSTALACION DE COMPONENTES	128
Requerimientos de montaje	128
Formación de las terminales con disminución de la tensión	129
Daño en las terminales del componente	129
Adición de nuevos componentes	129
Componentes dañados	130
Proceso de soldadura	130
Unión de soldadura terminada	130
¿Empleó suficiente soldadura?	131
Daño por calor	132
II. PRINCIPIOS BASICOS DE SOLDADURA	134
Temperatura	134
Pasta (Fundente)	135
Pasta de base de resina	135
Limpiar o no limpiar	136
III. REPARACION DE PISTAS Y PLAQUITAS ("ISLAS")	136
Definiciones de pistas dañadas que requieren reparación	136
Definiciones de "islas" dañadas que requieren reparación	136
Métodos aceptables para la reparación de pistas e "islas"	136
Reparación con puentes de alambre	136
Reparación de "islas"	137
Otras técnicas de limpieza no recomendables	139
Procedimientos generales de limpieza	139
Cuándo sí debe removerse la pasta de resina para soldar	141
Limpieza del conector del borde de la tarjeta	141
Alcohol/agua y aceite de contacto	141
PRECAUCION	141
CAPITULO IX. REFERENCIAS Y MICROPROCESADORES	147
Material de referencia	147
Tendencias futuras en el uso de equipo basado en microprocesadores	148
Localización de fallas y estrategia de reparación	148
RESUMEN	149
BIBLIOGRAFIA	150
OTRAS REFERENCIAS UTILES	150
APENDICE A. ILUSTRACION DE LA TECNICA DE LOCALIZACION DE FALLAS, UTILIZANDO UN MEDIDOR DE pH	151
Análisis de los síntomas	151
MODULO ESPECIAL	
INTRODUCCION	155
CAPITULO I. SEGURIDAD O RIESGOS	157
CAPITULO II. PARTICIPANTES EN LA SEGURIDAD EN LAS INSTITUCIONES DE ATENCION A LA SALUD	159

CAPITULO III. SEGURIDAD EN EL AMBIENTE MECANICO	163
Solidez estructural	163
Baleros, ejes, ruedas y rolletes	163
Sistema de contrapeso	164
Seguros y limitadores	166
CAPITULO IV. SEGURIDAD EN EL AMBIENTE DONDE SE EMPLEAN GASES	169
Gases inflamables	169
Gases no-inflamables pero comburentes	170
Gases no-inflamables	170
Gases tóxicos	170
Almacenamiento de gases	171
Manejo de gases comprimidos	171
¿Cómo poner en servicio un cilindro de gas?	172
Manejo de cilindros vacíos	172
Aire comprimido	172
CAPITULO V. SEGURIDAD CONTRA RADIACIONES	175
Efectos biológicos de la radiación	175
Reglas a seguir en el uso de radiaciones	176
Otros métodos de protección que pueden emplearse son:	176
Protección de los pacientes	177
Detección de radiación y control del personal	177
CAPITULO VI. SEGURIDAD ELECTRICA	179
Conexiones eléctricas con "trampas"	179
Técnicas abusivas	180
Deficiencias en el diseño de equipo	181
Mantenimiento preventivo y de seguridad	181
CAPITULO VII. RIESGOS CAUSADOS POR RADIOFRECUENCIA	183
Quemaduras eléctricas	183
Quemaduras térmicas	184
Otros riesgos causados por radiofrecuencias	184
CAPITULO VIII. RECOMENDACIONES GENERALES	187

PREFACIO

El programa de trabajo determinado por los Gobiernos Miembros que constituyen la Organización Panamericana de la Salud (OPS), dentro de sus actividades de desarrollo de la infraestructura y personal de salud, comprende la elaboración de nuevos tipos de materiales educativos aplicables fundamentalmente a la formación de personal técnico, auxiliar y de la comunidad.

En cumplimiento de lo señalado por los Gobiernos, se presenta a la consideración de los interesados, dentro del marco general del Programa Ampliado de Libros de Texto y Materiales de Instrucción, la **Serie PALTEX para Técnicos Medios y Auxiliares**, de la cual forma parte este manual.

El Programa Ampliado (PALTEX), en general, tiene por objeto ofrecer el mejor material de instrucción posible destinado al proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias de la salud, que resulte a la vez accesible, técnica y económicamente, a todos los niveles y categorías de personal en cualquiera de sus diferentes etapas de capacitación. De esta manera, dicho material está destinado a los trabajadores de las instituciones de salud, a los estudiantes y profesores de las escuelas técnicas, institutos tecnológicos y universitarios, así como al personal de la propia comunidad. Está orientado, tanto a las etapas de pregrado como de posgrado, a la educación continua y al adiestramiento en servicio, y puede servir a todo el personal de salud que participa en la ejecución de

la estrategia de la atención primaria, como elemento de consulta permanente durante el ejercicio de sus funciones.

El Programa Ampliado cuenta con el financiamiento de un préstamo de \$5.000.000, otorgado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) a la Fundación Panamericana de la Salud y Educación (PAHEF). La OPS ha aportado un fondo adicional de \$1.500.000 para contribuir a sufragar el costo del material producido. Se ha encomendado la coordinación técnica del Programa a la oficina coordinadora del Programa de Personal de Salud que tiene a su cargo un amplio programa de cooperación técnica destinado a analizar la necesidad y adecuación de los materiales de instrucción relacionados con la formación de los recursos humanos en materia de salud.

El contenido del material para la instrucción del personal que diseña y ejecuta los programas de salud se prepara con base en un análisis de sus respectivas funciones y responsabilidades.

La Serie PALTEX para Técnicos Medios y Auxiliares se refiere específicamente a manuales y módulos de instrucción para el personal técnico y auxiliar, es una selección de materiales que proporciona elementos para la formación básica de estos estudiantes, que anteriormente no disponían de materiales de instrucción especialmente preparados para ellos.

INTRODUCCION

El acelerado avance en la complejidad de la tecnología ha acarreado consigo un sinnúmero de beneficios en todas las actividades del hombre. El área de la salud no ha sido la excepción y la gran cantidad y diversidad de instrumentos que encontramos en hospitales, clínicas y laboratorios es sorprendente. Cada día, las decisiones que toma el médico se apoyan más y más en la información que obtiene de dispositivos de alta tecnología. Cada día se utilizan más instrumentos, aparatos y equipos que facilitan las acciones de prevención, diagnóstico, tratamiento y rehabilitación. Por lo tanto, la Salud, definida como estado normal de las actividades biológicas, psicológicas y conductuales, que incluye lo social, de los seres humanos, depende más y más de la confiabilidad de los instrumentos que se utilizan en el área de atención a la salud.

En un esfuerzo por resolver el problema del mantenimiento de los equipos que se utilizan en el ámbito de la atención a la salud, el Centro de Desarrollo y Aplicaciones Tecnológicas (CEDAT) de la Secretaría de Salud de México imparte cursos a nivel técnico. Estos cursos tienen por objetivo capacitar al personal técnico dentro de un marco de seguridad tanto para el personal encargado de la atención a la salud, el paciente, como para el técnico mismo, dándole los conocimientos necesarios y las técnicas apropiadas para que pueda dar el mantenimiento preventivo y correctivo necesarios con el fin de obtener el máximo provecho de los instrumentos y aparatos.

Uno de los cursos ofrecidos por el CEDAT fue inicialmente concebido por el Dr. Robert L. Morris de la Universidad para Ciencias de la Salud de Oregon, Estados Unidos de Norteamérica. Como parte de este programa de cooperación técnica entre los países, la OPS auspició la traducción de los materiales del curso al español y proporcionó financiación parcial para los cursos ofrecidos, como actividad conjunta de los Institutos Nacionales de Salud de los Estados Unidos de Norteamérica (NIH), el CEDAT y la OPS, en Washington en 1985 y en 1986, así como en México, D.F., en 1987.

Los materiales probaron ser satisfactorios durante los cursos y la OPS consideró que tendrían una utilidad general para los trabajadores de salud, que quizás no tengan acceso a los cursos de adiestramiento, puesto que existe muy poca información con referencia específica a la reparación de equipo biomédico en español. Con la cooperación técnica del CEDAT, los materiales han sido adaptados para elaborar el presente manual.

El enfoque de este manual es el de enseñar una forma lógica de raciocinio en el proceso de determinar por qué un instrumento dado o una pieza de un equipo falla en su funcionamiento o no funciona en absoluto. La parte central de cada capítulo presenta en forma resumida las preguntas principales por plantear en cada caso: ¿Cuáles son exactamente los síntomas que presenta el instrumento? ¿Cuáles funciones del equipo deben probarse y cómo? ¿Qué métodos deben utilizarse para determinar los problemas? ¿Qué funciones tienen los componentes electrónicos básicos? ¿Cuáles son los riesgos de seguridad que implica la reparación? ¿Cuáles son las técnicas básicas de reparación?

Las respuestas resumidas y esquemáticas de las preguntas principales se ilustran mediante apéndices al capítulo, tomadas de publicaciones sobre electrónica, tales como ejemplos de tipos de interferencia electrónica; ilustración de técnicas de detección y reparación con un medidor de pH; técnicas para reparaciones en los tableros de circuitos; e información detallada sobre componentes electrónicos.

El estudio cuidadoso del manual debe habilitar al estudiante para:

- describir las características funcionales principales de los diferentes componentes electrónicos;
- identificar y encontrar los riesgos de seguridad y prevenir accidentes a los cuales puede exponerse el personal en el uso de equipo biomédico;
- utilizar procedimientos lógicos, graduales, para el aprendizaje del funcionamiento de instrumentos y encontrar los componentes defectuosos de un aparato que no funciona.

AGRADECIMIENTOS

Este Manual está basado en el Manual "Logical Troubleshooting of Scientific Instruments" de Robert L. Morris, del Oregon Health Sciences University, School of Medicine, Portland, Oregon, EE.UU.

Agradecemos la ayuda y cooperación proporcionada por el Ing. Howard Metz, de la Sección de Bioingeniería de los Institutos Nacionales de Salud, Washington, D.C. La traducción estuvo a cargo de la Sra. Ingrid Mascher Gramlich. Se utilizó como material didáctico en los cursos que se impartieron en el Centro de Desarrollo y Aplicaciones Tecnológicas

de la Secretaría de Salud, México. Por lo que, agradecemos también la colaboración y sugerencias proporcionadas por las siguientes personas: Ingenieros Enrique Reyna M., Ricardo Paulin W., Froylan Dávila, Joaquín Zarco, José Antonio Esteva y Loyola y Enrique Sánchez. La edición estuvo a cargo del Dr. Héctor Brust Carmona y de la Sra. Ingrid Mascher Gramlich. La composición tipográfica y los dibujos en computadora estuvieron a cargo del Ing. Horacio Vidrio, el Matemático Jesús de Loera y la Física Ingrid Brust M.

CAPITULO I

GENERALIDADES

El ABCDE para aprender a utilizar los instrumentos

Procedimiento que deberá instrumentar toda persona para ejecutar una técnica con base en un dispositivo (se entiende por dispositivo un instrumento, aparato o equipo). Por favor, tome la decisión de no mover ni tocar nada durante la ejecución de A y B.

A. Analice el dispositivo (instrumento, aparato o equipo). ¿Para qué supone usted que sirve? En forma empírica observe y describa qué partes tiene, basándose en lo que usted se imagina que debe tener o qué debe hacer y cómo lo debe hacer. Analice los botones, **IMPORTANTE**: recuerde sin tocarlos. Analice cómo se mueven. Imagínesse lo que harán cuando se muevan; observe cuidadosamente qué otras partes sobresalientes tiene el instrumento: cable, clavija, panel, etcétera. ¿Qué características tienen? ¿Existen letreros que los identifiquen? ¿Qué dicen? Una vez terminado el análisis empírico pase al siguiente punto.

B. Busque la información. ¿Existe un manual de operaciones que diga, qué hace el dispositivo?, ¿cómo lo hace?, ¿con qué lo hace? Busque la descripción de los botones, ¿cómo se mueven? ¿qué debe pasar cuando se mueven? Se insiste: No accionar ningún botón. Seguir con el proceso correlativo entre lo que se pensó empíricamente (intuición) y lo que describe el manual. La búsqueda termina una vez que se reconozcan todos los botones, se tenga idea de lo que hacen, y se sepa qué datos debe proporcionar el instrumento. Buscar a qué nivel de precisión debe funcionar el instrumento según el instructivo. ¿Listo?

C. Compare o confronte lo que se imaginó (empíricamente) y lo que dice el manual de operación con lo que realmente ocurre. Compruebe que al accionar los botones se mueven en la forma teórica y ocurre realmente lo que dice el manual. ¿Coincide con lo que usted supuso?, ¿no?, ¿en qué difiere?, ¿qué lo hizo pensar diferente? Compare la correlación entre el movimiento de los botones y los cambios detectables que deben

ocurrir. Por ejemplo: ¿se desplaza la plumilla inscriptora en la proporción correcta? ¿Así, se lo imaginó?, ¿pensó usted que eso debería ocurrir?, ¿ya comprobó y aprendió a manejar todas las partes tal como lo describe el instructivo? BIEN, ahora pase al siguiente punto.

D. Describa, es decir, dicte verbalmente (de preferencia escriba usted en un cuaderno que será la "bitácora", protocolo, cuaderno de registro del manejo del dispositivo) ¿qué hace el aparato?, ¿para qué sirve el aparato?, ¿cuál es el fundamento básico para hacerlo?, es decir, la función de cada una de las partes o componentes sobresalientes, ¿qué hacen los botones?, ¿cómo lo hacen?, ¿por qué lo hacen? Por favor, no copie el manual, hágalo con sus palabras, con el lenguaje que normalmente utiliza usted. Por último,

E. Evalúe o explique cuánto conoce sobre el aparato. ¿Qué aplicación tiene?, ¿en qué condiciones se debe utilizar el aparato?, ¿para qué debe utilizarse? Evalúe el grado de conocimiento que tiene del aparato: ¿puede describir sus principales partes, sus botones de control, hasta qué nivel "sabe" usted cómo funciona? Ojalá y esto lo motive para iniciar un nuevo ABCDE para cada parte del dispositivo que se ha puesto en sus manos.

También esperamos que le quede bien grabado el concepto de que la tecnología es el complemento práctico de los procesos mentales.

Panorama general

A continuación se presenta un panorama general del proceso lógico de localización y corrección de fallas o averías. En capítulos posteriores se cubrirán los aspectos específicos de este proceso, gran parte de este texto está basado en las referencias 1 y 2 de la bibliografía.

El objetivo de la localización de averías es reparar o corregir una falla en el sistema de instrumentos. Consideramos como sistema de instrumentos a la tecnología, es decir, el conjunto de procedimientos, con o sin instrumentos, aparatos o equipos, que aplicados permiten resolver un problema. Por lo general, en la aplicación tecnológica se utiliza un

instrumento o aparato; pero, debe reconocerse que un sistema tecnológico consta de tres partes principales: el **Usuario**, el **Instrumento**, y el **Medio Ambiente** donde se utiliza el instrumento así como el **Problema** que se desea resolver mediante la utilización correcta del instrumento correspondiente. Por ejemplo, el médico o técnico, un aparato de Rayos X y la sala de radiografías, con todas sus conexiones eléctricas y blindajes correspondientes, y la pierna fracturada del paciente que se desea diagnosticar con precisión.

Por lo tanto, la falla o funcionamiento deficiente en un sistema tecnológico puede ser el resultado de dificultades en cualquiera de las tres partes principales. Como regla general, las fallas se encuentran distribuidas en forma aproximadamente igual entre las tres partes.

1. **El usuario:** El usuario generalmente realiza la decisión final de que ha ocurrido una falla o funcionamiento deficiente. Los problemas pueden ser causados por el uso inadecuado o incorrecto, por controles no establecidos correctamente, etcétera.
2. **El instrumento:** Es el dispositivo que realiza una función, tal como medición, control, bombeo, etcétera. Las fallas quedan dentro de dos categorías generales:
 - a. **No-electrónicas.** Conexiones sueltas o rotas, polvo, corrosión, desgaste mecánico, etcétera. Estas son las causas más probables por las que falla un instrumento.
 - b. **Electrónicas.** Falla de un componente en un circuito. Por lo general, la parte electrónica de un instrumento es la más confiable.
3. **El medio ambiente:** Comprende el ambiente total que rodea al instrumento y al usuario. Los problemas pueden relacionarse con el ambiente y otros factores, tales como temperatura, corrientes de aire, polvo, vibración, suministro eléctrico inadecuado, interferencia eléctrica o química, carga que excede el margen dinámico, reactivos o electrodos en mal estado, etcétera; así como el "problema" que se quiere resolver al aplicar el instrumento. Es decir, sería inconcebible tratar de apretar una tuerca con una pinza quirúrgica, o querer usar un tomógrafo para diagnosticar una simple fractura en el brazo. Cada instrumento o aparato debe ser usado para el fin que fue diseñado

do específicamente en las condiciones adecuadas, incluyendo los suministros necesarios.

El primer paso en la localización de fallas o averías es aplicar la A (análisis) del procedimiento descrito del ABCDE y determinar en qué parte del sistema tecnológico se encuentra la falla, ya sea en la operación (usuario), el instrumento en sí, o el medio ambiente, incluyendo lo que se quiso hacer con el instrumento.

El propósito de la metodología empleada para la localización de averías es reunir información (buscar) sobre la falla o funcionamiento deficiente en forma lógica y sistemática. Deberá buscar las respuestas a preguntas tales como:

¿Cuál es el objetivo del aparato?

¿Qué debe hacer?

¿Cuántas áreas funcionales tiene? ¿Mecánica, eléctrica, electrónica, etcétera?

¿Cómo funciona el sistema normalmente?

¿La aplicación que se le está dando queda dentro de las capacidades de funcionamiento del dispositivo?

¿Cuáles son las condiciones de falla?

¿Cuáles son los síntomas causados por la falla?

¿Cuál es la causa de la falla?

Luego tendrá que comparar (C, del método ABCDE) lo que dice el manual con lo que realmente hace el aparato, describir (D) cómo parece generarse y cómo puede probablemente repararse la falla, y evaluar (E) el resultado de la acción, así como "suponer" a qué se debió la falla para prevenir, en lo posible, dichas alteraciones.

La localización de fallas requiere de una base amplia de conocimientos que consta de: electrónica, física, química, óptica, mecánica; teoría de medición, funcionamiento de equipo, etcétera.

La localización de fallas requiere de las siguientes habilidades prácticas:

1. Observación cuidadosa. Saber qué es lo que se busca, cuándo buscarlo, dónde y cómo buscarlo.
2. Utilización efectiva de los manuales de operación, de servicio y otras fuentes de datos técnicos.
3. Uso adecuado de mesas de trabajo, herramientas y maquinaria pequeña. Utilizar la herramienta o maquinaria adecuada para la tarea a realizar y utilizarla en forma correcta. Es fundamental cumplir con los requisitos de seguridad.
4. Buenas técnicas de soldadura. Utilice un cautín de temperatura controlada para hacer soldaduras limpias y buenas y siga las instrucciones para evi-

tar daños en los componentes delicados, tarjetas de circuitos, aislante, etcétera.

5. Conocimientos sobre el montaje del dispositivo, el desarmado y los métodos para desmontar componentes. Proceda con cautela, cuidando el orden de las cosas, para evitar dificultades adicionales y permitir el reensamblaje apropiado. Es muy conveniente tener **un cuaderno** donde se vayan anotando los datos indispensables como **recordatorio** futuro y para hacer dibujos.
6. Buenas medidas de seguridad. No sólo para el que está localizando la falla, sino también para identificar y cambiar aquellas partes que pudieran presentar un riesgo para el operador o usuario del dispositivo.

Los pasos a seguir en la localización de fallas son:

1. Determine los síntomas y analícelos (**Analizar**).
 - a. ESCUCHE, VEA, HUELA, PIENSE y OPERE.
 - b. Utilice todas las fuentes de información (**Buscar**): manuales, registros de mantenimiento, otras personas, el agente vendedor, el distribuidor, el fabricante.
 - c. Establezca los síntomas lo más claramente posible y en forma precisa (**Comparar**). El decir que un dispositivo no funciona, aunque sea cierto, no es una información clara de los síntomas (comparar con lo que debe ocurrir cuando funciona normalmente).
2. Localización del módulo funcional.
PIENSE, VEA y PRUEBE (**Describe** qué acciones están indicadas para esos módulos).
3. Concentración en un circuito.
PIENSE, VEA y PRUEBE (**Describe** mentalmente el funcionamiento del circuito).
4. Localice el componente o problema específico (**Describe** qué hace).
PIENSE, VEA y PRUEBE.
5. Determine la causa de la falla.
6. Reemplace o corrija el componente defectuoso y corrija la causa de la falla. Recuerde una resistencia quemada no representa la causa.
7. Cerciórese del uso correcto y de la calibración.
8. Complete los registros.
9. Repase todo el proceso de localización y reparación (**Evalúe**: qué sabía del aparato; cómo localizó la falla; cómo lo consiguió). Es la mejor forma de mejorar sus habilidades para la localización de fallas. Haga un pequeño resumen escrito. Esto

aunque en el momento le parezca pérdida de tiempo, en el siguiente aparato le será de gran utilidad y le ahorrará tiempo y esfuerzo.

Proceda haciendo preguntas y encontrando respuestas.

1. Formule sus preguntas en la forma más simple. Seleccione preguntas que puedan ser contestadas fácilmente y que le darán la máxima información para ayudarle a encontrar la falla. Conteste las preguntas **PENSANDO, OBSERVANDO** y **PROBANDO**. Diríjase a los expertos, fabricantes o agentes vendedores, distribuidores. Busque información en los manuales, libros de texto, catálogos u otros datos técnicos, etcétera.
 2. Haga sus observaciones, pruebas, etcétera, comenzando desde lo simple hasta lo complejo. Siempre haga las cosas simples primero. Apunte las pruebas que realice y los resultados obtenidos; poco a poco, sus notas serán más concretas y útiles.
 3. Piense sobre la falla. El grado de la falla. Las causas de la falla, el curso temporal de la falla y la combinación de la falla con otros factores. En otras palabras, con la información disponible:
 - ¿Qué es lo más probable que haya fallado?
 - ¿Cuál fue la causa más probable de la falla?
 - ¿Cómo pueden corregirse la falla y la causa?
 4. Guarde sus registros. Los registros buenos le ayudan a proseguir en forma lógica y le permiten hacer un seguimiento de lo que se ha hecho. Se insiste, los registros (cuaderno, bitácora con dibujos) son útiles para el futuro, ya que proporcionan una referencia en caso de que se presenten fallas posteriores en un instrumento igual o similar. Los registros sirven para proporcionar retroinformación antes que nada a los usuarios, a los fabricantes y sus distribuidores. Los registros son útiles para que los administradores puedan tomar decisiones adecuadas con respecto a las piezas de repuesto que deben adquirirse. Los registros sirven para detectar un problema en un instrumento en particular, el cual puede requerir una modificación para la corrección de la falla. Pero, sobre todo, le servirán para pensar y proponer innovaciones o invenciones que vayan generando la adaptación de la tecnología a las condiciones existentes en su país.
- Características que debe tener un buen localizador de fallas:

1. Curiosidad de saber por qué las cosas son como son, y sobre todo cómo trabajan las cosas, tanto por separado como en conjunto (motivación para aprender).
2. Una buena base de conocimientos fundamentales, no sólo de electricidad y electrónica, sino también de mecánica, óptica, química, etcétera, con motivación para buscar la información necesaria.
3. Una buena comprensión de los principios generales, funciones y características del instrumento, del sistema de instrumentos y de computación.
4. Conocimiento de los transductores y sus características.
5. Conocimientos de los componentes básicos que forman los instrumentos, tales como: resistores, capacitores, transformadores, inductores, diodos, transistores y otros semiconductores, circuitos integrados analógicos y digitales, motores, inte-

- ruptores, cables, alambres, conectores, tarjetas de circuitos, embragues, bridas, etcétera.
6. Conocimientos sobre las formas en que fallan los instrumentos o sus componentes.
7. Conocimiento sobre su propia capacidad, un conocimiento de cuándo parar y solicitar ayuda. Es mejor solicitar ayuda antes de destruir algo.
8. Buena habilidad manual.
9. Un enfoque lógico, sistemático, para abordar un problema y su resolución.
10. La habilidad de trabajar en conjunto con otras personas.

Pero, anímese todo esto se aprende aplicando sistemáticamente el ABCDE.

La figura 1 proporciona una visión general en forma de diagrama de flujo del proceso general de localización y corrección de fallas en una tecnología.

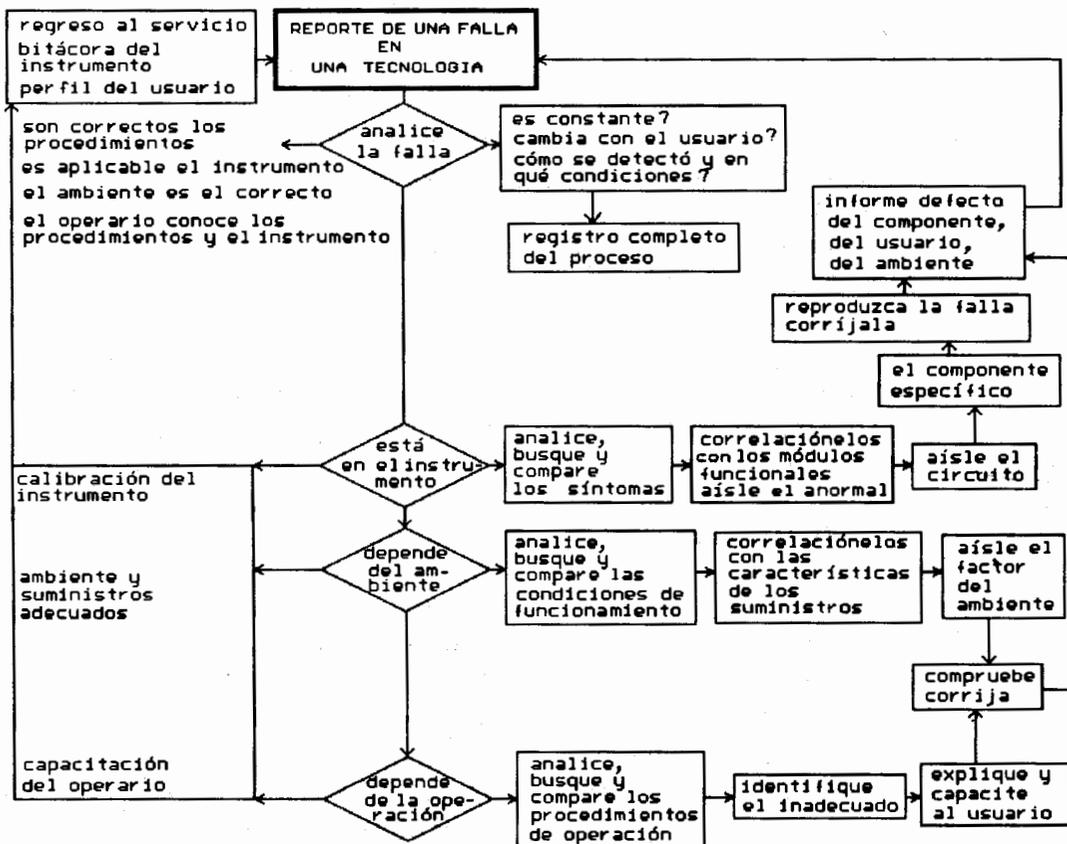


Figura I-1. Proceso de localización y corrección de fallas en una tecnología.

Descripción general de instrumentos

En esta parte se presenta un método general para describir instrumentos. Este método consiste en el uso de diagramas de bloque funcional. Se enfatiza la utilidad de estos diagramas en el proceso de localización de fallas o averías y para la mejor comprensión de los instrumentos.

Un diagrama en forma de bloques funcionales como modelo para cualquier instrumento se muestra en la figura 2. En este caso simplemente, se especifica que la señal externa activa un sistema de "ingreso", el cual la pasa a un proceso y entrega una información (salida). Para que funcione, se requiere de una fuente de poder que proporcione la "energía" adecuada y necesaria

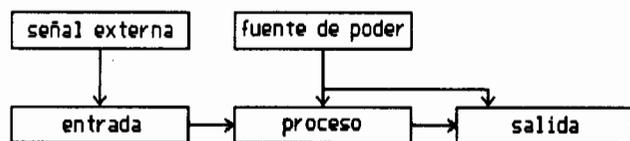


Figura I-2. Diagrama en bloques funcionales de un instrumento

Este diagrama en bloques funcionales puede hacerse más detallado y específico para un instrumento, como se ilustra en la figura 3. En este caso se identifica una señal biológica que es transducida a otra, generalmente eléctrica, que debe mantener las características de dicha señal biológica (fidelidad), dicha señal eléctrica es amplificada y representada por un sistema de lectura analógico o digital. También requiere una fuente de poder, la cual, inclusive, actúa sobre el transductor.

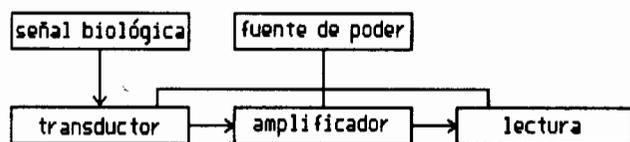


Figura I-3. Diagrama en bloques funcionales específicos de un instrumento

El diagrama en bloques funcionales puede ampliarse aún más para que proporcione mayores detalles, como se muestra en la figura 4. En este caso se

agrega un sistema que garantice la fidelidad de la transducción al sistema de amplificación.

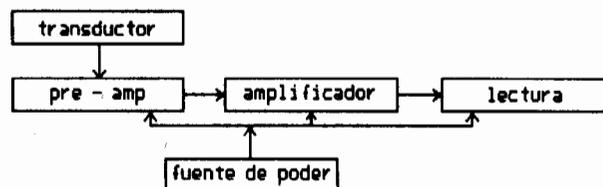


Figura I-4. Diagrama en bloques funcionales más detallados.

En la figura 5 se muestra el diagrama específico para un dispositivo con lectura analógica, representada al encenderse un tubo de gas.

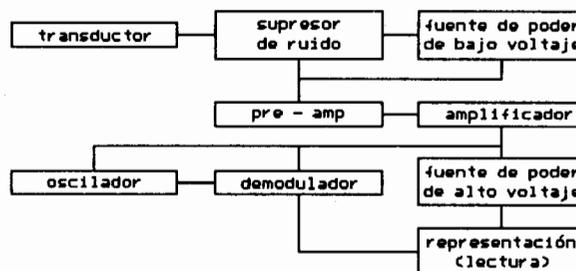


Figura I-5. Diagrama de un dispositivo específico

Esto puede a su vez subdividirse en diferentes bloques en un diagrama funcional. Por ejemplo, la fuente de poder, tal como se muestra en la figura 6.

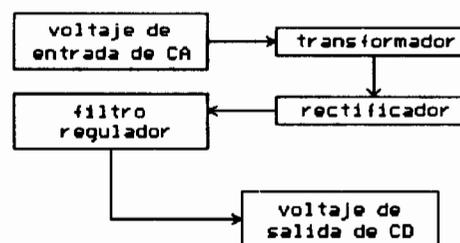


Figura I-6. Diagrama en bloques funcionales de una fuente de poder

Para muchos instrumentos no existen diagramas esquemáticos completos. Existen tan sólo diagramas de bloque funcional, diagramas de interconexión y esquemas parciales. Esto es cierto para prácticamente cualquier instrumento que contenga circuitos integrados. Los instrumentos digitales se proveen con

diagramas lógicos. Un diagrama lógico no es más que un diagrama de bloque funcional detallado.

En el diagrama de bloque funcional correspondiente a la localización y corrección de fallas o averías, la INFORMACION es la entrada, el CONOCIMIENTO Y LA COMPRENSION forman el proceso, y la SOLUCION es la salida, todo con su respectiva fuente de poder, representada por el personal técnico correctamente capacitado. Haciendo una analogía con lo que sucede durante el aprendizaje en los seres humanos (ABCDE), los aparatos sensoriales (transductores) son los que nos permiten sentir al tocar, oler, oír, ver, es decir, recibir la información, la cual se trasmite a través de los nervios al cerebro donde dicha información se codifica, decodifica e integra, permitiéndonos captar y entender lo que sucede en el medio ambiente y, con base en ello y las experiencias, seleccionar y realizar las respuestas correctas para solucionar un problema específico (Fig. 7). Tal como sucede con los instrumentos, si la fuente de poder falla, nada trabaja

bien. En los seres humanos esta fuente de poder es la "motivación".

CONCLUSIONES

1. Si usted entiende los fundamentos de un instrumento, ya sabe algo sobre cualquier instrumento.
2. Si usted entiende un tipo de instrumento, como por ejemplo un espectrofotómetro, usted ya conoce el funcionamiento de cualquier instrumento que emplee o mida luz.
3. Si usted entiende los módulos funcionales, tales como fuentes de poder, amplificador, etcétera, ya sabe algo sobre cualquier instrumento que los contenga.
4. Si usted entiende los componentes, resistores, capacitores, semiconductores, etcétera, ya sabe usted algo sobre cualquier instrumento que contenga esos componentes.
5. Si usted entiende y aplica el sistema lógico descrito, usted está en el camino correcto de desarrollar y aplicar procedimientos que solucionen sus necesidades específicas.

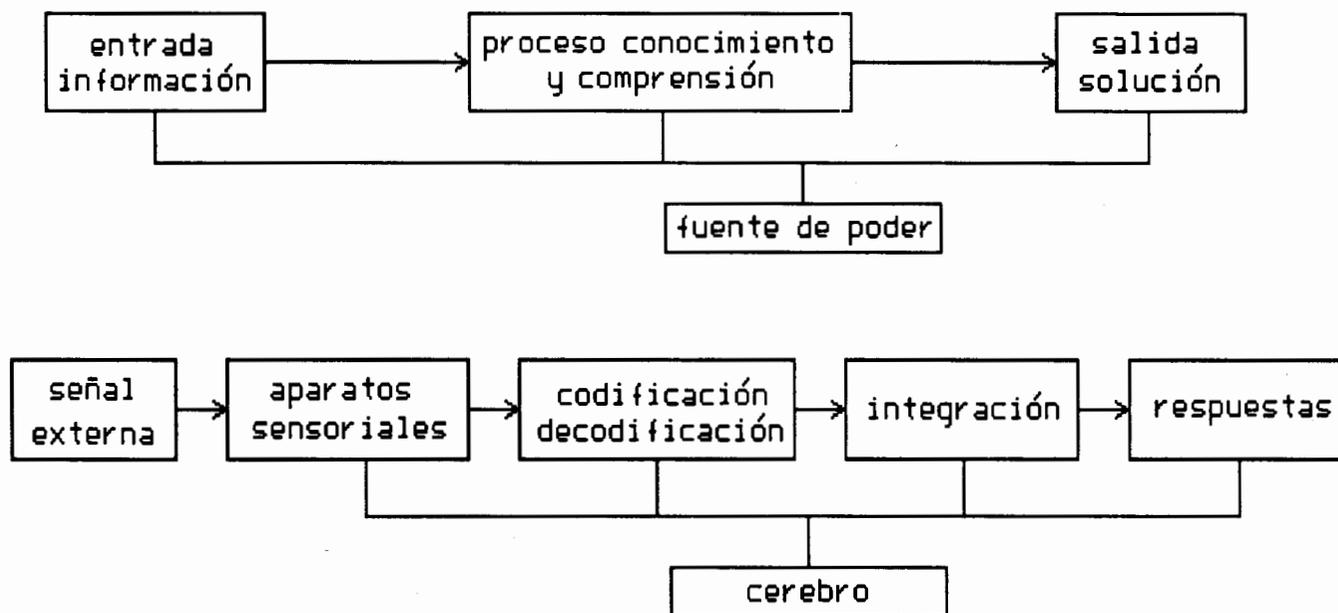


Figura I-7. Diagrama de un modelo del sistema de localización de fallas, haciendo una analogía con el funcionamiento del cerebro.

CAPITULO II

LOCALIZACION ESPECIFICA DE LAS FALLAS

Antes de intervenir un aparato, evalúe cuánto sabe usted de ese aparato, analice, tiene información sobre: ¿qué hace? ¿cómo lo hace? Busque los manuales de operación y de mantenimiento. Revise sus cuadernos: ¿Ya lo había intervenido con anterioridad? ¿Conoce este modelo u otros similares, o bien, aparatos que hagan lo mismo, pero de otras marcas? Recuerde: ¿Qué hace el aparato, cómo lo hace, de qué depende que lo haga? Busque información en el manual (no tiene manual; su trabajo será, entonces, mucho más difícil. Inclusive, si no tiene experiencia en este tipo de aparato, piense si no le convendría esperar a conseguir el manual), los diagramas de bloques, de circuitos, en fin, toda la información escrita que pueda reunir sobre el aparato cuya reparación se le ha encomendado. Compare lo que pensó con los diagramas, ¿existen coincidencias, diferencias? Aclárelas, leyendo y revisando de nuevo el manual. Dicte, aunque sea mentalmente su guía de acción. ¿Qué parte debe examinar primero? ¿Cómo lo debe hacer? Evalúe qué tanto preparó el camino y proceda con lo que sigue.

Análisis de los síntomas (datos) generados por las fallas

En esta sección se proporciona información detallada sobre la primera y más importante parte del proceso de localización de fallas o averías: Identificar los síntomas y determinar su análisis. La identificación y el análisis de los síntomas se repiten continuamente en todo el proceso de localización de fallas. En cada paso se repiten una y otra vez las siguientes acciones: LOCALIZACION con respecto al MODULO FUNCIONAL, AISLAMIENTO a un CIRCUITO, y LOCALIZACION ESPECIFICA DEL COMPONENTE DEFECTUOSO, y la confirmación y análisis de los síntomas a través del proceso de MIRAR, ESCUCHAR, OLER, HACER FUNCIONAR Y PROBAR. El PENSAR, planteándose preguntas, es esencial para guiar el proceso de razonamiento. Razonar es cuando usted se imagina mentalmente (piensa) qué debería pasar al efectuar una acción determinada; generalmente, su pensamiento se basa en información o experiencia previa, de no hacerlo o intentar de inmediato una

posible solución lo llevará a aprender por ensayo y error y no por razonamiento. El procedimiento de aprender por ensayo y error es muy útil si usted identifica y apunta exactamente las condiciones en las que hizo una "acción" y los resultados que obtuvo; en esta forma, sus ensayos, errores, irán disminuyendo. Paulatinamente usted pensará lo inadecuado de algunos ensayos, razonando, y ahorrará tiempo y dinero.

Haga preguntas para guiar su línea de pensamiento.

1. ¿Cuáles son los síntomas conocidos?
2. ¿Pueden verificarse los síntomas? Con cuidado, que esto puede dañar aún más el instrumento.
3. ¿Aparecieron los síntomas gradual o repentinamente?
4. ¿Están los síntomas presentes siempre?
5. ¿Se presentan los síntomas sólo bajo ciertas circunstancias? (después de que se calienta el instrumento, al poner determinados controles, etcétera).
6. ¿Se presentan los síntomas solo en forma intermitente y en una forma no predecible? Este es el caso más difícil, y puede requerir que se someta el aparato a un incremento de temperatura, de voltaje, de vibración o a otras tensiones, para determinar las condiciones de la falla y reproducirla. Es muy importante mantener un registro (cuaderno o bitácora del aparato) de las condiciones bajo las cuales ocurre la falla. La interferencia proveniente de otro dispositivo o sistema, por lo general, se presenta como un problema intermitente que aparece sólo al estar funcionando el dispositivo o sistema causante de la interferencia.
7. ¿Hay otros síntomas?
8. ¿Cuál es el funcionamiento normal o esperado del instrumento?
9. ¿En qué difiere el funcionamiento real del normal?
10. ¿Se pueden definir los síntomas de otro modo, que sea más exacto y proporcione mayor información?
11. ¿Cuáles son las pruebas más sencillas para verificar los síntomas?

Las preguntas deben ser de naturaleza binaria, es decir, requerir solamente una respuesta de sí o no, y estar diseñadas de tal forma que una respuesta pueda eliminar partes importantes del dispositivo como causantes del problema. Ejemplo de preguntas son:

1. ¿Alguna vez funcionó el aparato correctamente bajo las condiciones definidas para la falla?
2. ¿Está conectado el aparato?
3. ¿Está encendido?
4. ¿Sirve aún el fusible?
5. ¿Existe una salida? ¿Es ésta normal?
6. ¿Existe una entrada?
7. ¿Indican los síntomas una posible falla en la fuente de poder o en alguno de los otros módulos funcionales?

Sea flexible en sus preguntas. Si no es posible, o es demasiado difícil contestar una pregunta, replan-téela o siga con otra pregunta. **RECUERDE**

1. Busque **TODAS** las fuentes de información disponibles al analizar los síntomas, y al hacerse preguntas y contestarlas.
2. Las preguntas y sus respuestas pueden ser temporales o tentativas y sujetas a cambio. Sólo son un medio para adquirir información para localizar un problema. No constituyen el problema en sí. Enseguida deberá plantearse cómo identificar el problema y las posibles soluciones.

La directriz a seguir en la localización y corrección de fallas es siempre de lo general a lo específico, del sistema al instrumento, de la función al componente.

La directriz a seguir al probar es siempre de lo simple a lo complejo.

Haga funcionar los controles, sin encender el aparato, revise cables, fusibles, etcétera. A continuación, con el aparato encendido, proceda como sigue:

1. **RECUERDE anotar las posiciones de los ajustes originales** de los controles. El problema puede ser causado por un control fuera de su posición para el funcionamiento correcto.
2. ¿Funcionan correctamente todas las luces indicadoras, alarmas, etcétera?
3. ¿Se comportan los controles en forma normal? Observe el funcionamiento del aparato, de todas las lecturas, de los indicadores, etcétera.
4. ¿Se ven, se oyen, se mueven correctamente los controles?
5. ¿Tienen los controles el efecto correcto sobre el funcionamiento del aparato?

VEA, ESCUCHE, HUELA, TOQUE (cuidando de no quemarse). Sus sentidos y su cerebro conforman el mejor y más flexible sistema de prueba y de análisis del mundo.

Cerciórese del funcionamiento mecánico apropiado, es decir, sin movimientos bruscos y asegúrese de que sabe cómo desarmar el dispositivo o módulo (se insiste, tenga a la mano un cuaderno, haga anotaciones y esquemas).

1. Escuche al operador o usuario, es él quien puede proporcionarle información sobre las condiciones y síntomas de la falla. Escuche al aparato, tratando de detectar tanto ruidos normales como anormales, tales como:
 - a. Cascabeleo, rechinos, zumbidos. Estos pueden indicar desgaste, falta de lubricación o de movimiento.
 - b. Zumbidos o chisporroteos. Estos pueden indicar un cortocircuito, formación de arcos, efecto corona de alto voltaje, carga excesiva de los transformadores, etcétera.
 - c. Ruido o silencio excesivo. Esto puede indicar una pieza o parte rota o defectuosa, tal como un ventilador para enfriamiento.
2. Observe, buscando:
 - a. Daño físico y desgaste.
 - b. Partes y conexiones sueltas o defectuosas.
 - c. Polvo, tierra, corrosión, fugas, etcétera.
 - d. Aislantes, componentes, tarjetas de circuitos, etcétera, quemados, carbonizados o decolorados.
 - e. Relaciones físicas. Utilice éstas para formarse una imagen mental de las relaciones funcionales.
3. Huela, buscando (c/u huele diferente):
 - a. Transformadores sobrecalentados. Esto puede indicar defecto en el transformador, un corto externo, carga excesiva o una falla del sistema de enfriamiento.
 - b. Resistores quemados o resistores en los que no se pueda leer el código de colores. Esto sugiere sobrecalentamiento y puede ser causado por reducción en su valor, ya sea por envejecimiento, falla de algún otro componente o función, falla de enfriamiento, etcétera.
 - c. Aislantes quemados o carbonizados. Esto puede ser causado por un cortocircuito, flujo excesivo de corriente, componente cercano sobrecalentado, etcétera.

4. Toque, buscando:

- a. Lugares o puntos calientes. Tenga cuidado de no quemarse o de recibir un choque eléctrico.
- b. Bordes rugosos o puntos desgastados. Estos pueden indicar desgaste mecánico, alineación o montaje incorrecto, partes quebradas, etcétera.
- c. Funcionamiento suave y parejo. Pocos instrumentos están diseñados para funcionar en forma irregular o de golpeteo.

NO HAGA:

1. Consultas de los diagramas (durante las pruebas).
2. Mediciones sin antes haber terminado todo el proceso anterior.

La mayor parte (casi el 80%) de los problemas en un sistema de instrumentos pueden ser resueltos usando sus conocimientos generales y específicos sobre los instrumentos y sistemas, y el conocimiento adquirido a través del uso cuidadoso de sus sentidos de la vista, del oído, del olfato y del tacto, y aplicando el procedimiento de Analizar, Buscar, Comparar, Describir y Evaluar (ABCDE).

Técnicas para la localización específica de las fallas

A continuación se presenta el proceso de localización de fallas o averías para aislar (circunscribir) y ubicar una falla específica, siguiendo las técnicas generales descritas en la sección anterior. La secuencia general a seguir es: LOCALIZACION restringida a un MODULO FUNCIONAL, AISLAMIENTO restringido a un CIRCUITO, y UBICACION O LOCALIZACION del COMPONENTE DEFECTUOSO.

UN MODULO FUNCIONAL es la parte del instrumento que realiza una función importante. Un módulo funcional generalmente corresponde a un bloque en el diagrama de bloques funcionales de un instrumento. Por ejemplo, las fuentes de poder, los transductores, los amplificadores, los osciladores, los preamplificadores, etcétera.

UN CIRCUITO es la parte de un instrumento que realiza una subfunción electrónica. Es parte de un módulo funcional. Por ejemplo: la entrada de un amplificador, el filtro de una fuente de poder, el regulador de una fuente de poder, los impulsores de salida de un amplificador, etcétera.

UN COMPONENTE es la parte del instrumento que controla un circuito, la corriente, el voltaje, et-

cétera. Un grupo de componentes interconectados forman un circuito. Son ejemplos de componentes: los interruptores, los resistores, los capacitores, los transformadores, los transistores, los circuitos integrados, las lámparas, etcétera.

Los **componentes** se emplean para hacer circuitos. Los **circuitos** conforman los **módulos funcionales**. Los **módulos funcionales** conforman un instrumento o **dispositivo**. Los **dispositivos** pueden interconectarse para **formar un sistema**.

SIEMPRE haga las cosas fáciles primero. Considere cuál puede ser la causa más probable del problema y revísela primero.

Si el problema no es lo que usted pensó que era, **DETENGASE** y **PIENSE** antes de proseguir. Siempre sea sistemático y registre en un cuaderno sus resultados para que sepa lo que ya ha revisado y tenga la certeza de que comprobó que funciona correctamente.

Localización restringida a una función

Antes de poder localizar y asignar una falla a una función, es necesario conocer las funciones. Usted tiene que ser capaz de hacer un diagrama de bloque. Si no conoce mucho sobre el aparato o dispositivo, el diagrama de bloque será muy simple. Conforme se sepa más sobre el aparato, se puede hacer un diagrama de bloque más completo y detallado (Repase el capítulo I, en la sección que cubre los diagramas de bloque).

Debe seguir el proceso de detección o localización de las fallas, analizando los síntomas tal como se describió al inicio de este capítulo. Si no encuentra la falla, entonces debe detenerse y leer cuidadosamente el manual de mantenimiento, o cuando menos el de operación, para que le ayude a razonar y pensar en lo que **no hace** el aparato y la probable razón por la cual ocurre esto. Revise los diagramas, si no los tiene, haga sus diagramas de bloques, de probables circuitos, de los componentes. Busque toda la información al respecto y prosiga:

1. Tome una decisión; basándose en los síntomas que producen la causa más probable de la falla.
2. Determine qué y cómo medir para verificar su decisión.
3. Proceda en una forma lógica y sistemática para que sepa lo que ha hecho y qué partes del aparato ha encontrado que funcionan correctamente.

4. Repita el proceso anterior hasta localizar el problema y poder plantearse qué lo pudo originar y cómo corregirlo.
5. Tome unos minutos para apuntar en su cuaderno y hacer diagramas. Estamos convencidos de que a largo plazo usted lo agradecerá y sobre todo hará su trabajo con base en el razonamiento, lo cual se reflejará en mejores resultados, con mayor satisfacción personal en lo que hace y probablemente en su economía.

Estrategias generales para realizar pruebas y mediciones

1. Verifique primero los voltajes de la fuente de poder, ya que todas las otras partes son iguales en cuanto a que dependen de un voltaje de alimentación.
2. Sustitución. La sustitución es el medio más rápido para encontrar un módulo funcional defectuoso. Pero, para que la sustitución sea efectiva, deben tomarse en cuenta diversos factores:

PIENSE antes de sustituir. La falla puede ser tal que cause una alteración en el sustituto. Por ejemplo, si el regulador de 5 voltios falló y la fuente de 5 voltios era en realidad de 8.5 voltios, al sustituir tarjetas de circuitos lógicos TTL o de circuitos integrados, arruinaría estos sustitutos en lugar de aislar la falla. Es recomendable medir las salidas de las fuentes de poder antes de realizar cualquier sustitución, es recomendable hacerlo con las cargas teóricas de trabajo.

Generalmente, no es bueno sustituir unidades funcionales de alta potencia, corriente y/o voltaje. Con potencias o energía elevada es muy fácil dañar la fuente de poder y quizá su sustituto.

Debe verificarse que el sustituto esté en buenas condiciones, de nada sirve sustituir una unidad defectuosa por otra igual.

Al sustituir tarjetas de circuito impreso, recuerde que puede haber derivaciones, interruptores, o controles en la tarjeta que tienen que ser ajustados antes para que el sustituto trabaje correctamente. Un ejemplo es un tablero de memoria de una computadora que, a menudo, tiene interruptores o derivaciones que deben ajustarse para proporcionar una dirección correcta a la unidad de CPU. (CPU, Central Processing Unit = Unidad de procesamiento central.)

Sustituir un componente bueno por uno que ha fallado puede crear más componentes que fallen, si no se considera o se corrige la falla original.

3. Método de entrada a salida. Cerciórese de la calidad de la señal que va a utilizar como prueba. Mida la señal en la entrada del módulo funcional. Si la medición muestra un valor correcto, continúe la revisión del módulo en la salida. Si las características de la señal también se reproducen, entonces el módulo bajo prueba está funcionando bien. Continúe la revisión con el siguiente módulo.
4. Método de salida a entrada. Este método es igual al enfoque dado en el inciso anterior, sólo que ahora se prueba la salida primero. El escoger entre uno u otro método no tiene importancia, sólo es de conveniencia. Escoja el que sea más rápido y fácil.
5. Método de dividir a la mitad. Este es un buen método cuando existe un gran número de bloques funcionales idénticos en serie o una cantidad considerable de tarjetas de circuitos en un instrumento.
 - a. Mida o pruebe la salida a la mitad del bloque o de la tarjeta de circuito. Si los resultados están bien, entonces la primera mitad de los bloques está bien, y la falla debe estar en la segunda mitad.
 - b. Divida la segunda mitad de los bloques a la mitad y mida la señal. Si la señal es incorrecta, la falla se localiza entre dicha mitad y las 3/4 partes del bloque. Mediciones subsecuentes le permitirán aislar (circunscribir) la falla a un bloque en particular o a una tarjeta de circuito.
 - c. Este método de dividir a la mitad, como ya se dijo, es muy eficiente al buscar una falla en un número grande de funciones idénticas que se encuentran conectadas en serie. Sin embargo, para que este método sea efectivo deben existir las siguientes condiciones:
 - Todos los bloques de circuitos o módulos son igual de confiables
 - Sólo existe una falla
 - Todas las mediciones son similares y requieren el mismo tiempo.

La mayoría de los sistemas no consisten tan sólo de bloques conectados en serie, sino que tienen, además, ramas en paralelo y circuitos de retroali-

mentación. Las conexiones que complican la localización de fallas son:

a. **Divergencia:** la salida de un bloque surte a dos o más bloques. Verifique cada salida a la vez, y luego continúe la búsqueda del bloque defectuoso en el área que es común a las entradas incorrectas.

b. **Convergencia.** Dos o más líneas de entrada que alimentan a un solo bloque funcional. Verifique primero las entradas en el punto de convergencia. Si todas están bien, la falla se encuentra más allá del punto de convergencia. Si alguna entrada es incorrecta, la falla debe radicar en ese circuito de entrada.

c. **Retroalimentación.** La salida de un bloque que está conectada a la entrada del mismo bloque o a la entrada de un bloque anterior.

Los sistemas de retroalimentación son más complicados. Existen dos tipos de retroalimentación.

1. **Retroalimentación modificante.** Esta ocurre cuando la retroalimentación se emplea para **MODIFICAR** las características de un sistema. Un ejemplo de retroalimentación modificante es el control automático de ganancia empleado en los radioreceptores y en los video-amplificadores.

A menudo, es posible interrumpir el circuito de retroalimentación y verificar cada circuito por separado sin alimentar una señal de falla al circuito. Lo mejor es desconectar el circuito de retroalimentación en el bloque de entrada. Debe tenerse especial cuidado para no interferir con las condiciones de polarización. En el caso de una señal de retroalimentación de CA, ésta puede derivarse a tierra con un capacitor adecuado.

2. **Retroalimentación de sustento.** Esta es cuando la retroalimentación es esencial para que pueda existir alguna salida. La retroalimentación de sustento se emplea en muchos sistemas de control de posición, en donde una señal de retroalimentación, proporcional a la posición de algún dispositivo de salida, es usada para cancelar el efecto de una señal de entrada. La mayoría de las consolas de registro del tipo de servo-alimentación (retro-alimentación) corresponden a esta descripción.

Cuando se desconecta la retroalimentación de la entrada, es posible inyectar una señal adecuada en lugar de la retroalimentación y luego probar los bloques de circuito dentro del bucle o malla.

RECUERDE

1. **PIENSE, VEA, ESCUCHE, HUELA y TOQUE** todo el tiempo.
2. Reevalúe constantemente los síntomas y sus suposiciones. **NO** desconecte su cerebro cuando empiece a hacer mediciones.
3. Use cualquiera y todos los recursos disponibles.
4. No haga ninguna medición, si no sabe lo que espera de la misma.

Aislamiento a un circuito

1. Aislar (circunscribir) una falla, restringiéndola a un circuito dentro de una función, es continuación del proceso ya presentado. El único factor adicional que se emplea es su propio conocimiento más detallado sobre circuitos. Conocimientos que obtuvo al volver a leer y observar los diagramas por segunda o tercera vez en el manual correspondiente.
2. Para aislar (circunscribir) una falla a un circuito, es útil revisar los diagramas esquemáticos, si es que están disponibles. Como esto no es muy frecuente en nuestro medio, el ir anotando todos los datos que vaya encontrando le permitirá ir diseñando el posible diagrama. Continúe **PENSANDO, MIRANDO, ESCUCHANDO, OLIENDO Y TOCANDO**, al mismo tiempo que hace mediciones.

Localización del componente defectuoso

1. Se aplica todo lo que se ha dicho hasta ahora.
2. Al buscar un componente defectuoso, recuerde cuáles son los componentes menos confiables y por tanto los más propensos a fallar.
3. Verifique primero el componente más viable de fallar.
4. Recuerde emplear un enfoque sistemático y hacer las cosas fáciles primero. No olvide anotar en su cuaderno cuáles componentes ya revisó.

Corrección de la falla

1. Determine la causa de la falla. Si el problema radica en un componente defectuoso, es importante determinar qué lo hizo fallar antes de reemplazar el componente defectuoso. Sustituir un resistor quemado debido a un transistor en corto, sólo hará que se consuman más resistores hasta que se reemplace el transistor en corto.

2. Corrija el problema y pruebe que el dispositivo esté funcionando correctamente.
3. Repase todo el proceso de localización de falla y de reparación, es decir, en retrospectiva, piense cómo encontró y corrigió el problema. Tome el tiempo para hacer anotaciones y diagramas. Esta acción repercutirá positivamente en su próximo problema.
 - a. ¿Hubo síntomas que usted ignoró, pero que en realidad le hubieran ayudado a detectar el problema más fácilmente?
 - b. Bajo las mismas condiciones y síntomas, ¿podría encontrar el problema más rápidamente la siguiente vez?
 - c. Con el dispositivo funcionando correctamente, mida los voltajes y las señales en los puntos críticos y registre las lecturas en su cuaderno de protocolo o bitácora; en el manual o en los esquemas para referencias futuras.
- d. Repase todo el proceso de localización de falla y su reparación como una experiencia de aprendizaje y encuentre las cosas que hizo correctamente y las que debió haber hecho en forma diferente. De nuevo, anote esta información en su cuaderno de protocolo. Por último, complete el papeleo necesario para mantener registros exactos y completos. Le insistimos, esto no es "burocracia" o problemas administrativos, son problemas técnicos que le aseguran memorizar y establecer en su cerebro los "patrones o imágenes" que le aseguren al futuro acciones de razonamiento y repercutirán en un mejor trabajo en menor tiempo y a menor costo.

CAPITULO III

EQUIPO DE PRUEBA Y MEDICIONES

Este capítulo repasa las consideraciones básicas para hacer mediciones y las características del equipo de prueba usual. El técnico que trata de localizar una falla debe estar totalmente familiarizado con los principios básicos de las mediciones y el equipo de prueba que va a utilizar para obtener la máxima información de cualquier medición. Usted debe saber: **QUE, DONDE, CUANDO, COMO Y POR QUE** está haciendo una medición y debe ser capaz de interpretar los resultados de su medición. No debe hacerse ninguna medición, sin antes saber lo que se espera de ella. ¿Si usted no sabe qué voltaje o señal debe tener en un punto del circuito, cómo puede saber si el resultado de su medición es correcto?

El propósito de usar equipo de prueba y hacer mediciones mientras está localizando una falla es obtener información sobre una falla o sobre la causa de la misma.

Medir es comparar una magnitud con otra fija, llamada "unidad de medida" o "estándar de comparación". Por ejemplo, al medir la altura de un objeto, se compara dicha altura con el milímetro, con el centímetro, con el metro, etcétera, para ver cuántas veces es mayor, menor o igual a dichas unidades de medida.

Se realizan mediciones en la fabricación de toda clase de productos; también cuando se les da mantenimiento; con el objeto de lograr el debido control de calidad y la localización de fallas.

Tipos de errores o problemas de medición

Los errores o problemas que se pueden presentar al efectuar una medición pueden ser sistemáticos (siempre ocurren casi iguales) o aleatorios (variables al azar).

El error sistemático se da por desajustes en los instrumentos y equipos o por deficiencias en el método usado, pero también se puede deber a errores o problemas causados por las personas. Dicho error se caracteriza porque en el resultado siempre aparece la misma diferencia. Por ejemplo, si un instrumento está descalibrado, en todos los casos en que se use causará el mismo error; esto, naturalmente, hasta que se calibre el instrumento. Del mismo modo, si una persona, por ejemplo, tiene la tendencia a medir

sobre las escalas con un ángulo de colocación incorrecto, de sus ojos, puede causar el llamado "error de paralaje", el cual será siempre aproximadamente igual hasta que no cambie dicha tendencia. En cuanto al método, si uno de los pasos de la medición no se ejecuta adecuadamente, siempre aparecerá el mismo error en el resultado.

En cuanto a los errores aleatorios o accidentales, éstos ocurren de repente, por causas no previstas; es casi imposible prevenirlos. Entre las causas que lo producen están las vibraciones, golpeteos, fricciones no uniformes, variaciones no previstas de temperatura, etcétera.

Los errores sistemáticos se corrigen, generalmente, calibrando el instrumento o los instrumentos que intervienen en dicha calibración; si el error es de tipo humano deberán corregirse los vicios de medición que se tengan. Los errores aleatorios, cuando son causados por los instrumentos o los aparatos, requieren un mantenimiento mayor que incluya su calibración para su corrección; al ser de origen humano, generalmente, se pueden corregir con mejor entrenamiento.

Los factores que interfieren en el resultado de una medición son:

- a) El factor humano.
 - b) El local y el medio ambiente.
 - c) La técnica de medición.
 - d) El instrumento usado.
 - e) Las características del objeto que se va a medir.
- a) **Factor Humano.** El técnico o persona que va a realizar las mediciones debe estar debidamente capacitado y debe encontrarse en condiciones físicas adecuadas para el tipo de técnica que aplicará (buena visión, buen oído, buen pulso, etcétera).
- b) **Local y medio ambiente.** La mayoría de los trabajos de mantenimiento de equipos para la salud, en general, se realizan en el mismo local en el cual están situados dichos equipos; o bien en algún local común, sin mayor instalación, dentro del edificio. Por esta razón, el técnico debe adaptarse a las condiciones existentes en dicho local. Sin embargo, para lograr mediciones muy exactas y precisas se deberían llevar las piezas o refaccio-

nes que se van a medir a un local con temperatura y ambiente controlados (sin vibraciones, sin polvo, con buena luz, etcétera).

En algunos casos es necesario hacer mediciones muy precisas. Estas se deben hacer en un laboratorio de metrología, usando calibradores de alturas, calibradores maestros, galgas o bloques patrones, etcétera, y trabajando sobre una mesa especial hecha de granito, en un ambiente con temperatura controlada. Sería muy raro contar con una sala de medición con temperatura controlada en un centro de salud; ni siquiera en un gran taller de mantenimiento centralizado habría presupuesto para una instalación así. Sin embargo, muchas empresas grandes y, desde luego, las que venden equipos de medición, sí cuentan con esas instalaciones y, generalmente, se puede contratar sus servicios; los cuales, repetimos, sólo se requieren cuando sea necesario hacer mediciones muy precisas.

También pueden requerirse los servicios de un laboratorio de mediciones para una "certificación de mediciones". Caso remoto en el estado actual de los centros de salud o de los hospitales de los países no desarrollados. En México, la dependencia que se encarga, por parte del gobierno, de emitir y vigilar dichas certificaciones es el Centro Nacional de Metrología, dependiente de la Dirección General de Normas de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (CENAM).

- c) **La técnica de medición.** Se refiere a la secuencia o pasos a seguir al efectuar una medición; se deben considerar los accesorios y materiales que se van a utilizar en cada uno de dichos pasos.
- d) **Instrumento usado.** El instrumento puede afectar la medición, bien sea por errores de fabricación o por desgaste. Es importante recordar que el instrumento que se use debe adecuarse al objeto que se va a medir. La mayoría de las mediciones que se llevan a cabo en las labores de mantenimiento se efectúan usando simples reglas, escalas, flexómetros o cintas métricas diversas, escuadras sencillas o universales, etcétera. Sería un error adquirir, para las labores más sencillas, calibradores y micrómetros complicados y caros. En cambio, si se va a efectuar una labor de mantenimiento en un equipo de precisión o si se va a fabricar alguna pieza que no fue posible conseguir como refacción en el mercado, entonces sí es re-

comendable usar un buen calibrador o un micrómetro, instrumentos de gran precisión, seleccionando el más adecuado entre la gran variedad existente.

Características del objeto que se va a medir

Se debe considerar que algunas magnitudes medibles de los objetos, por ejemplo sus dimensiones, varían de un momento a otro, principalmente por cambios de temperatura, lo cual afecta las mediciones. Un ejemplo de ello es un edificio o un puente que necesita juntas de unión que permitan el cambio de dimensiones por efecto del calor generado por el sol; si no se tomara la precaución de poner dichas juntas, se fracturaría la estructura. Lo mismo sucede al fabricar o reparar una pieza o instrumento, el calor produce dilatación. Si no se mide bien, al tratar de colocarla en su lugar se puede fracturar o atorar produciéndose una falla grave. Por ello es indispensable usar un buen criterio en el proceso de la medición en el ejemplo anterior, esperar a que la pieza o refacción se enfríe y se estabilice en sus dimensiones. Casos típicos serían aquéllos en los que se pretende hacer una medición inmediatamente después de soldar una pieza o recién que se termina de trabajar en el torno. Teóricamente, de acuerdo a normas internacionales, las mediciones deben hacerse a una temperatura de 20°C; pero, esto es imposible cumplirlo en la mayoría de los casos en que no se dispone de un laboratorio con temperatura controlada. Afortunadamente, en la práctica las variaciones en las mediciones no son muy grandes y, por lo general, son válidas a la temperatura ambiente.

Las características más importantes de un instrumento de medición son las siguientes:

- a) Exactitud y precisión.
- b) Sensibilidad.

Exactitud y precisión

Estos conceptos se pueden explicar mediante un ejemplo de medición para un objeto de un metro. Esa magnitud (distancia o tamaño) tiene un valor real que puede medirse con exactitud y precisión. La exactitud está dada por el acercamiento que se logre a la medida real del objeto (un metro), mientras que la precisión está dada en función de las características del instrumento de medida que se utilice. Por ejemplo: es un metro con divisiones (marcas) cada 10 cm o tiene marcas cada cm o cada mm. Esto es, la

exactitud de la medición podría indicar que medimos valores muy próximos al metro (95.9; 93.5; 99; 96; 97.5) y la precisión dependerá de que usemos una cinta con divisiones en centímetros o en milímetros (las mediciones sólo pudieron representar 80; 90; 90; etcétera). Otro ejemplo sería la medición de la edad de una persona: la edad real puede ser de 18 años y la precisión con la que se mida puede ser en meses, días, etcétera. En términos de cálculos estadísticos la exactitud está descrita por el valor promedio (o de tendencia central), que resulta de la suma de todas las mediciones y dividirla entre el número de muestras; mientras que la precisión está descrita por la dispersión que tienen las mediciones alrededor del valor promedio, qué tanto se alejan de dicho promedio.

La precisión está muy ligada al concepto llamado "reproducibilidad de la medición", que consiste en que una medición, que se ha hecho, se pueda repetir muchas veces dando con mucha aproximación el mismo resultado. Si esto no fuera así, la medición no sería precisa.

Un instrumento de medición, por ejemplo un micrómetro, puede ser exacto en cuanto a que el valor que está dando es correcto (es real). Pero, si al mismo tiempo puede medir hasta milésimas de milímetro, con una buena reproducibilidad de las mediciones, será un instrumento, además de exacto, preciso. Las características de exactitud y precisión se deben tomar en cuenta para adquirir un instrumento, tanto para darle mantenimiento como para usarlo, dado que para obtener una medición correcta, en un caso dado, se debe usar el instrumento que proporcione la exactitud y la precisión adecuadas.

NOTA: En la práctica, sobre todo entre vendedores de equipo, se llega a confundir el concepto "precisión" con otro llamado "legibilidad". Este se refiere a la lectura mínima que se puede obtener con el instrumento; por ejemplo, si con un calibrador de cierto tipo se pueden medir hasta centésimas de milímetro, esa es su "legibilidad"; pero muchos técnicos y muchos vendedores a eso le llaman "precisión". Los dos conceptos están muy ligados uno al otro; pero, rigurosamente hablando, no son lo mismo.

Sensibilidad

Este concepto lo podemos ilustrar mediante el ejemplo de una báscula. Se dice que es sensible cuando puede detectar cualquier cambio pequeño de peso que ocurra en su platillo; en cambio, si se

necesita añadir mucho peso para que el indicador marque algo, se dice que la báscula es poco sensible. En la clínica médica se describe como la intensidad mínima del estímulo que es sentido por el sujeto.

La sensibilidad del instrumento se define como la "capacidad del instrumento para distinguir claramente entre dos unidades de medición consecutivas". Por ejemplo, un medidor de carátula puede necesitar que su aguja indicadora recorra 10 mm sobre la escala de su carátula para indicar una medición de 0.1 mm en la superficie de la pieza. Si otro medidor, para la misma medición de 0.1 mm, su aguja indicadora recorre 20 mm en vez de 10, es más sensible y por tanto podrían efectuarse más mediciones intermedias. En el primer caso la sensibilidad tendrá un valor de $0.1/10 = 0.01$, lo que quiere decir que cada milímetro en la carátula corresponde a una centésima (0.01) de milímetro en la pieza medida. En el segundo caso la sensibilidad será de $0.1/20 = 0.005$, lo que significa que el medidor es más sensible, porque cada milímetro de la carátula corresponde a una magnitud más pequeña en la pieza (0.005 mm).

Resumen de las definiciones de los términos más comunes

EXACTITUD. La cercanía de la medición al valor correcto o verdadero. La exactitud se expresa, a menudo, como el porciento de la lectura, o el porciento de la escala total. Los instrumentos digitales de medición siempre tienen un límite en la exactitud de más o menos uno en el dígito menos significativo (LSB, por sus siglas en inglés) debido a la naturaleza de los circuitos digitales de conteo. Una exactitud conocida es resultado de la calibración.

EXACTITUD = $\pm[(\% \text{ de la lectura}) + (\text{número de dígitos menos significativos})]$. Como ejemplo de exactitud, en la mayoría de los multímetros digitales, ésta es de $\pm(0.1\% + 1)$.

PRECISION. El número de dígitos significativos disponibles para describir una medición. Por lo general, se expresa como el número de dígitos. Por ejemplo, la precisión de una medición o de un instrumento se puede expresar como de 5 dígitos o de 3 1/2 dígitos. La precisión **no implica necesariamente exactitud**. Es posible comprar o construir un multímetro digital con 4 dígitos de lectura, pero que solamente tiene un convertidor A/D de 8 bits. Si éste fuera el caso, la precisión de tal instrumento sería de

4 dígitos significativos, pero la exactitud no podría ser mayor de 0.5%.

NOTA: La exactitud en el caso de un convertidor analógico-digital de 8 bits, implica $2^8 = 256$ combinaciones posibles con una exactitud de 0.4% ($1/256 \times 100 = 0.4\%$).

RESOLUCION. La claridad con que se puede leer o resolver el valor de una medición. Una expresión sobre resolución, generalmente, es (refiriéndose a las especificaciones de un DMM, multímetro digital): "Una resolución de 100 microvoltios en el margen de 1 voltio". Esta afirmación de resolución implica una precisión de 4 1/2 ó 5 dígitos. **NO DICE NADA** sobre la exactitud. En ocasiones, en especial cuando se hacen mediciones diferenciales, puede ser más importante tener una resolución elevada que una exactitud suficiente que concuerde con la resolución.

REPRODUCIBILIDAD. Al hacer mediciones repetidas de la misma señal, ¿qué tanto concuerdan los resultados de las mediciones sucesivas entre sí? La reproducibilidad se afecta por la estabilidad del instrumento de medición y por la fuente de la señal.

ESTABILIDAD. Si se mide constantemente una señal estable e invariable, ¿qué tan estable o invariable es la indicación del aparato de medición?

Procedimiento de medición eléctrica

Siempre que se haga una medición, el uso del dispositivo de medición afecta al instrumento o sistema que está siendo medido. La mayor parte del efecto se debe al cambio en los parámetros del circuito, que se origina al conectar las puntas o terminales de un instrumento de prueba a un punto del circuito. Todos los instrumentos de medición, electrónicos o eléctricos, tienen una entrada finita de impedancia, capacitancia, etcétera.

Los efectos pueden ser o no significativos. El efecto puede consistir en un cambio de la cantidad medida de manera que el resultado no es útil. Al conectar un instrumento de prueba a un circuito puede variar la forma de comportamiento del circuito. Un ejemplo sería tratar de medir o ver la señal en un punto sensible de un oscilador. El proceso de medición podría cambiar la frecuencia del oscilador o detenerlo en su oscilación. Deben entenderse y considerarse las consecuencias de conectar una terminal de prueba a un circuito antes de poder interpretar los resultados de una medición.

El efecto de conectar una terminal de prueba a un punto del circuito, por lo general, se denomina **carga**. La carga no afecta la precisión o la resolución de una medición, sólo su exactitud.

En ocasiones, se hacen mediciones que simplemente no vienen al caso. Un ejemplo sería, tratar de ver o medir directamente con un osciloscopio la base de un transistor amplificador CA de emisor común. La medición le dirá algo sobre las condiciones de polarización, pero muy poco sobre la señal. Debido a que el transistor es controlado por la corriente que llega a la base y no por el voltaje, lo más probable es que no vea señal alguna. Si es que ve una señal, ésta será mucho más pequeña de lo esperado.

Parámetros a medir

Antes de hacer cualquier medición, usted debe saber:

1. Calibración de los instrumentos.

La finalidad de calibrar un instrumento es ponerlo en su condición exacta, a base de un ajuste adecuado para que los resultados que proporcionen sean precisos y correctos, comprobando su exactitud y precisión con relación a un estándar (calibrar).

Existen patrones de medida que están certificados y se deben usar para calibrar los instrumentos (bloques patrón, barras patrón, etcétera). La calibración del aparato implica ajustarlo para que mida el valor del patrón con la mayor exactitud y precisión posibles.

Las especificaciones que se deben tener en cuenta, dentro de una norma general de calibración de instrumentos de medición, son las siguientes:

- a) Durante la calibración se deberán reproducir, en la medida de lo posible, las condiciones reales en que normalmente se utiliza el aparato.
- b) El instrumento deberá calibrarse en la posición en la que va a quedar cuando se use y de preferencia en el mismo lugar.
- c) Una vez calibrado un aparato no debe desarmarse porque puede variar el ajuste realizado.

2. ¿Cuáles parámetros funcionales debe medir?

Voltajes o corrientes de fuente de poder. Ganancia del amplificador, Cambio de fase Temporización del ancho de pulso, niveles lógi-

cos, "Offsets" (desplazamiento de niveles de referencia), polarización, etcétera.

3. ¿Cuáles parámetros primarios debe medir y en qué cantidad?

Voltaje, CD o CA, onda sinusoidal, onda cuadrada, pulso, de base al pico, pico a pico, o de rms, promedio, etcétera, además debe saber si va a medir en micro, mili, voltios o kilovoltios.

Corriente, CD o CA, onda sinusoidal o cuadrada, pulso, etcétera. Si al pico, pico a pico, rms, promedio, etcétera, además debe saber si va a medir micro, mili o amperios.

Resistencia, en mili, kilo o megaohmios.

Frecuencia, en hertzios, kilo, mega o gigahertzios, o en revoluciones por minuto.

Período o tiempo, en nano, micro, mili o segundos.

Impedancia. reactancia capacitiva o inductiva, ángulo de fase, y a qué frecuencia.

Presión, estática o dinámica, en mm de Hg, en torrs, pascales, newtons por metro cuadrado, libras por pulgada cuadrada, etcétera.

Libramientos mecánicos, en milésimas, centésimas o décimas de milímetro, metros, pulgadas, pies, etcétera.

Es conveniente expresar todos los parámetros de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades.

4. ¿Cómo medir?

a) ¿Con un VOM, DMM, osciloscopio, puente de impedancia, calibrador, manómetro, etcétera?

b) ¿Estando encendido o apagado el instrumento en el que va a hacer la medición? ¿Aplicándose energía o no? ¿Cómo deben estar los controles del instrumento que se va a medir?

c) ¿Qué posición deben tener los controles del instrumento bajo medición?

d) ¿Deberá desmontarse el componente antes de su revisión?

5. ¿Dónde medir?

a) ¿En la entrada o en la salida? ¿En un punto de prueba o en qué punto del circuito?

b) ¿En un componente? ¿En la compuerta de un FET (por sus siglas en inglés, Transistor de efecto de campo)? ¿En el colector de un transistor? ¿En la unión de dos resistores?, etcétera.

NOTA: Al abreviarse las palabras giga, mega, hertzios se emplean mayúsculas, G, M, Hz, respectivamente; para kilo se emplea minúscula, de acuerdo al Sistema Internacional de Unidades.

6. ¿Por qué medir?

¿Qué información le va a proporcionar la medición? si:

a) Los resultados de la medición concuerdan con lo esperado, o

b) Los resultados no son los esperados.

Además, debe saber:

a) La exactitud y precisión requerida de la medición.

b) Los efectos que la medición tendrá sobre el circuito. ¿Cambiará el proceso de la medición lo que usted espera de un punto dado del circuito, bajo condiciones normales de funcionamiento?

Instrumentos de prueba o de medición

Debe entenderlos para usarlos correctamente.

1. El VOM (Avómetro, Medidor de Simpson, etcétera). Usted DEBE saber:

Su exactitud, precisión y calibración.

¿Cuál es su especificación de ohmios/voltios?

¿Para CD, para CA?

¿Cómo mide el VOM los voltajes y corrientes de CD o CA?

¿Cuáles son las características de frecuencia del VOM al medir CA?

¿Cómo responde su medidor VOM a ondas no-sinusoidales?

¿Cómo responde su VOM al medir un voltaje que consiste de una señal de CA sobrepuesta en un nivel de CD? ¿Si se seleccionan márgenes de CA? ¿márgenes de CD?

¿Cuáles son las corrientes y voltajes máximos proporcionados por el VOM al medir resistencias? ¿Es diferente para cada margen de ohmios? Un VOM puede dañar transistores de señales pequeñas o diodos de señal sensitivos al proporcionar una corriente demasiado elevada en los márgenes de $R \times 1$ o $R \times 10$.

2. El DMM (Multímetro digital). Usted DEBE saber:

Su exactitud, precisión y calibración.

Su impedancia de entrada o carga del circuito.

¿Cómo mide el DMM los voltajes y corrientes de CD y CA?

El método de conversión de Digital a Analógico empleado en el DMM y sus ventajas y limitaciones.

La frecuencia de muestreo del DMM.

El tiempo de estabilización del DMM.

Las características de frecuencia del DMM al medir CA.

Cómo responde el DMM a ondas no-sinusoidales.

Cómo responde el DMM al medir una señal de CA sobrepuesta en un nivel de CD. Si se seleccionan márgenes de CA, márgenes de CD.

El máximo de corriente y/o voltaje proporcionado por el DMM al medir resistencia, para cada margen de ohmios.

Las indicaciones de sobremargen.

Las indicaciones de cuándo se requiere recargar o cambiar las baterías internas.

Conocer su DMM lo suficiente para entender su funcionamiento y así saber si está funcionando correctamente.

Además, usted **DEBE** saber que:

Al medir niveles bajos de voltaje de CD, un DMM causará menor carga en el circuito que un VOM. La impedancia de entrada característica de un DMM es de 10 megaohmios.

Al medir voltajes de CD mayores de 500 voltios, un VOM de 20,000 ohmios/voltio causará menos carga en el circuito que un DMM. Si su VOM tiene una sensibilidad de 50,000 ohmios/voltio, causará menos carga que un DMM para todos los voltajes por arriba de 200 voltios.

Tanto los VOMs como los DMMs tienen sensibilidad muy diferente al medir voltajes de CD que al medir CA.

La mayoría de los VOMs pueden proporcionar corrientes de 100 a 300 miliamperios en el margen de $R \times 1$ ohmios. Esto es suficiente para dañar muchas de las uniones de los semiconductores en muchos transistores y diodos de señal pequeña. **USTED DEBE CONOCER LAS CARACTERISTICAS DE SU APARATO DE MEDICION.**

3. El Osciloscopio. Usted **DEBE** saber:

Su exactitud, precisión y calibración. Recuerde que tiene tanto circuitos verticales como horizontales que deben ser calibrados.

Su impedancia de entrada o su carga de circuito. Sin terminal de prueba. Con terminal de prueba. ¿Está la terminal de prueba correctamente compensada?

Cómo ajustar los circuitos de disparo.

Lo suficiente sobre el osciloscopio como para hacer un diagrama de bloque funcional y explicar las interrelaciones de las diferentes partes.

¿Cómo determinar el correcto funcionamiento del osciloscopio?

Los osciloscopios, básicamente indican voltajes pico a pico, o pico, así como su dependencia temporal, mientras que los VOMs y los DMMs son, por lo general, instrumentos que proporcionan lecturas promedio o de rms.

4. Simuladores, generadores de señales, etcétera.

Estos son dispositivos muy útiles para la localización de fallas. Como con cualquier instrumento de prueba, hay algunos puntos que deben tenerse en cuenta al emplearlos.

Los simuladores y generadores de señales **no son iguales a la señal real** que el aparato que está siendo probado detecta durante su funcionamiento normal. Deben conocerse y tomarse en cuenta las diferencias entre la señal real y la de sustitución antes y durante el uso de la señal de sustitución.

Muchos simuladores sólo simulan el nivel y la forma de la señal. **NO** pueden simular la impedancia característica de la fuente de la señal real.

Las formas complejas de ondas son, a menudo, simuladas utilizando un oscilador, un contador, una memoria ROM (por sus siglas en inglés, Memoria de Lectura Exclusiva) y un convertidor D/A. Pueden presentarse pequeñas espigas de conmutación en la salida analógica, las cuales pueden producir un comportamiento no usual en el instrumento bajo medición.

Como con todo equipo, usted debe entender los detalles del equipo de prueba, para poderlo usar eficiente y efectivamente.

CAPITULO IV

COMPONENTES Y SUS CARACTERISTICAS

Este capítulo describe las características de los componentes más usuales. Todos los ingenieros y técnicos, ya sea que estén en la etapa de diseño, de detección de problemas o de reparación, deben conocer las propiedades y las características de los componentes empleados en los aparatos eléctricos o electrónicos con los cuales están trabajando.

En el caso del mantenimiento y reparación, un conocimiento amplio de los componentes es muy importante para ayudar en la localización y reparación de las fallas, así como en el caso de que no existan las piezas exactas de repuesto para poder utilizar un sustituto adecuado.

Es imposible cubrir en un solo capítulo todos los componentes y sus características en detalle. Este capítulo proporciona un simple bosquejo de algunas de las características importantes de los componentes claves. Se hará énfasis en aquellas características que son particularmente relevantes para el proceso de detección de fallas y su reparación.

Resistores

Los resistores existen en numerosas formas y tipos, a excepción del alambre, son probablemente el componente electrónico más común. Existen tanto con valores fijos como variables. Las características generales de todos los resistores son:

Especificación de Potencia. Los resistores comunes se presentan con especificación de potencia que va de un margen de 1/8 de vatio a 10 vatios.

1. Nunca deberá excederse esta especificación de potencia.

2. La especificación de potencia disminuye con un aumento de la temperatura ambiental. La especificación de potencia indicada, por lo general, sólo se aplica a una temperatura ambiental de 20° C y disminuye a cero a cierta temperatura, dependiendo del material del que esté fabricado el resistor.

3. La especificación de potencia de un resistor utilizado en un circuito debe ser por lo menos el doble de la disipación de potencia requerida. Esto proporcionará, generalmente, un margen de seguridad suficiente para evitar su falla prematura.

Tolerancia. Los resistores se presentan con tolerancias estándares de 1%, 5%, 10% y 20%. Los re-

sistores con tolerancia de 20% se usan muy raras veces en la actualidad. Un resistor sólo se mantendrá dentro de su límite de tolerancia de exactitud si no se le ha colocado bajo tensión, ya sea excediendo sus límites de potencia, temperatura y voltaje (Consulte la Fig. 1 y el Cuadro I para mayor información)

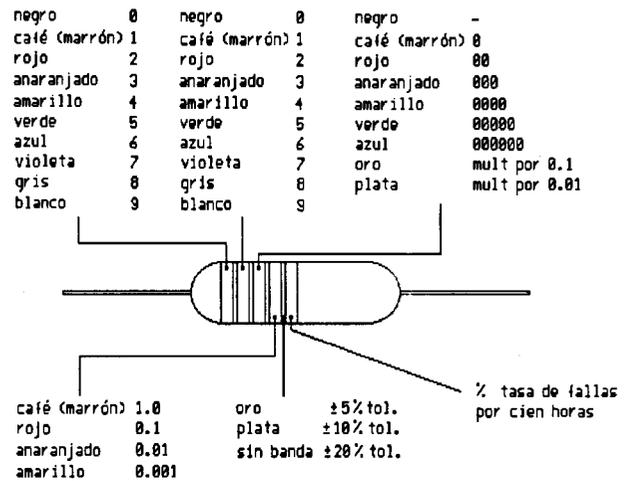


Figura IV-1 Código de color para resistores de composición de carbón.

Coefficiente de Temperatura y Margen de Temperatura. El valor de un resistor variará con la temperatura. La cantidad de cambio depende de los materiales de que está hecho el resistor. Algunos resistores se recuperan totalmente, o se acercan mucho al valor original, cuando disminuye la temperatura y algunos exhibirán efectos de histéresis.

Especificación de Voltaje. Los resistores poseen una especificación de voltaje que no debe ser excedida, ya que se produciría daño permanente en el resistor. La especificación de voltaje es un máximo, aun cuando no se exceda la de potencia (Consulte la Fig. 2 para mayor información).

Características de los resistores variables

Linealidad o distribución de la resistencia. La variación de la resistencia en función de cambios de posición en el contacto deslizable es un parámetro importante. La mayoría de los potenciómetros uti-

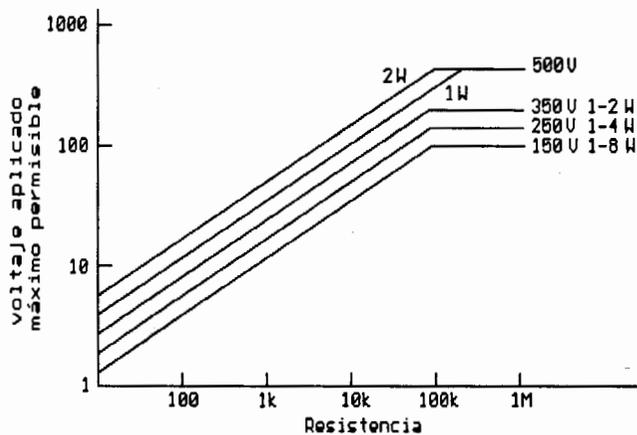


Figura IV-2. Características de los resistores variables

lizados en los circuitos de audio, como controles de volumen o de nivel, tienen una distribución de resistencia logarítmica, puesto que el oído responde en forma logarítmica a los niveles de sonido. El Cuadro II presenta una guía para la aplicación de los potenciómetros.

La **especificación de potencia** se aplica cuando la potencia se disipa a través de todo el elemento de resistencia. Los resistores variables conectados como reóstatos se funden fácilmente si la potencia se disipa en una pequeña porción del elemento.

Formas de fallar de los resistores variables:

1. Es común que presenten fallas parciales, tales como un aumento en la resistencia del contacto deslizante, lo cual produce ruido. Esto generalmente se debe al polvo, grasa, o cualquier otro material atrapado en el elemento. También puede producirse ruido excesivo por desgaste del elemento resistivo.

2. Las fallas de circuito abierto se producen por la corrosión, humedad, temperaturas elevadas, o por desgaste del contacto deslizante al deslizarse sobre el elemento resistivo.

Los cuadros III y IV le proporcionan mayores detalles sobre estos resistores.

Características de los resistores fijos

Existen cuatro tipos principales de resistores fijos:

1. Los de composición de carbón. Los resistores de carbón están hechos de partículas de carbón comprimidas y con aglutinante, dándoseles forma bajo presión. Por lo general, estos resistores son poco confiables, ya que:

Tienen un valor elevado, debido a la migración del carbón o del material aglutinante causada por el calor, el voltaje o la humedad. La absorción de humedad hace que el resistor se hinche, forzando la separación de las partículas de carbón, lo que puede producir circuito abierto, además, éste puede producirse por temperaturas excesivas. Los resistores de carbón disminuyen su valor con la temperatura. Algunos no regresan a sus valores originales al ser enfriados y, con el tiempo, sus valores disminuyen lentamente hasta que ocasionan un corto y se queman, abriendo el circuito.

2. Resistores de película de carbón. Estos resistores se hacen depositando una película de carbón sobre un tubo de cerámica. La película, por lo general, se coloca en forma de espiral en la parte externa de la base de cerámica. La película, por lo general, se cubre con pintura para sellarla contra la humedad y del mundo exterior. Sus formas más comunes de falla son:

Circuito abierto. Debido a la desintegración de la película por someterlo a temperatura elevada. Por rayarse o resquebrajarse la película.

Ruido elevado. Debido a mal contacto de las terminales conectoras. Generalmente es causado por tensión mecánica debido a montaje defectuoso en un circuito.

3. Resistores de película metálica. Se fabrican en la misma forma que los de película de carbón, pero se utiliza una cinta metálica como elemento resistivo. Los resistores de película metálica son más resistentes a los cambios de temperatura y envejecen más lentamente que los de composición de carbón o de película de carbón. Sus fallas son similares a las que presentan los de película de carbón.

4. Resistores de Alambre Enrollado. Estos están hechos enrollando un alambre sobre un tubo de cerámica y cubriéndolos con una pintura de cerámica. Estos resistores se emplean donde se requiere una elevada disipación de potencia. Su principal forma de falla es:

Circuito abierto. Causado por una fractura en el alambre, especialmente cuando se emplea alambre fino, y por cristalización progresiva del alambre debido a corrosión causada por la humedad absorbida. Los resistores de alambre enrollado también producen circuito abierto debido a una falla en el extremo soldado de conexión.

Capacitores

Los capacitores existen en numerosas formas y tamaños. Se clasifican en dos categorías principales: Polares y No polares

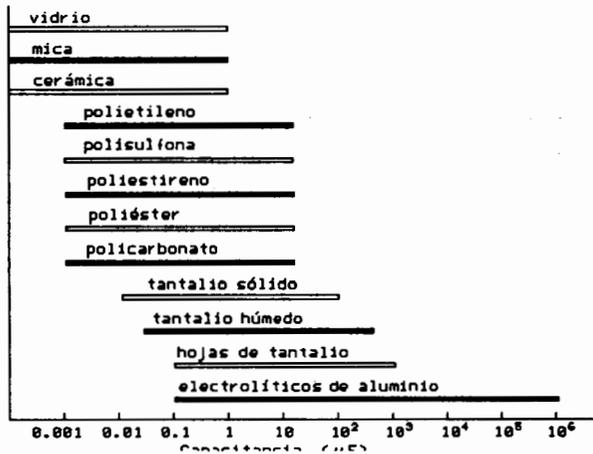


Figura IV-3. Relación del tipo de capacitor con su capacitancia

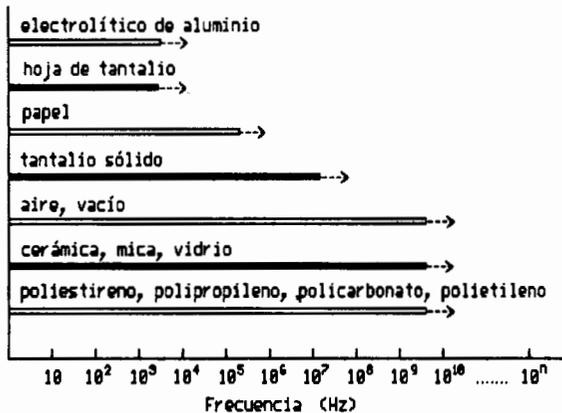


Figura IV-4. Relación del tipo de capacitor con las frecuencias de funcionamiento

1. Los capacitores polares son sensibles a la polaridad de los voltajes de corriente directa que se les aplica. Además se les clasifica de acuerdo al metal utilizado en su ánodo o extremo positivo. Los capacitores polares o electrolíticos tienen una capacitancia mucho más elevada con respecto a su volumen que los no-polares. Los capacitores polares tienen tolerancias amplias. Su capacitancia varía notablemente con la temperatura, voltaje, corriente, frecuencia, etcétera. La mayoría de los capacitores electrolíticos se vuelven inductivos a frecuencias mayores de unos cuantos cientos de kilohertzios.

El aluminio es el material más común utilizado para la fabricación de los capacitores electrolíticos o polares. Son de costo relativamente bajo y se emplean mayoritariamente como filtros en fuentes de poder. La inversión del voltaje a través de un capacitor electrolítico, por lo general, causará un corto circuito y destruirá el capacitor debido al sobrecalentamiento del electrólito. El capacitor puede explotar cuando se le somete a corrientes inversas o a voltajes de CA.

Los **capacitores electrolíticos de aluminio** se caracterizan por un deterioro de su especificación de voltaje de CD con el tiempo. En un circuito, la especificación de voltaje gradualmente disminuirá al valor requerido por el circuito. Si se produce una elevación brusca del voltaje en un capacitor electrolítico viejo, esto puede causar un corto y falla en el capacitor, aunque la amplitud de la elevación brusca haya sido menor que la especificación del voltaje del capacitor.

Durante su almacenamiento, el voltaje de un capacitor electrolítico de aluminio puede disminuir gradualmente a cero. Su especificación de voltaje puede ser restituida mediante un proceso llamado **conformación**. Para ello se aplica un voltaje al capacitor a través de un resistor (para limitar la corriente) hasta que la corriente disminuya a un valor razonable. El capacitor tendrá entonces una especificación de voltaje igual al voltaje aplicado.

Los capacitores electrolíticos tienen un electrólito líquido, el cual conforma el cátodo o extremo negativo del capacitor. Este electrólito tiende a secarse con el tiempo, lo cual arruina al capacitor. El sobrecalentamiento del capacitor puede causar fugas del electrólito a través del sellado a presión, y también puede producir el secado del electrólito.

La mejor forma de verificar el funcionamiento de un capacitor electrolítico es por sustitución. Si el capacitor ha producido un circuito abierto o ha disminuido su capacitancia, puede ser revisado rápidamente colocando otro capacitor en paralelo.

Muchos de los dispositivos, a menudo, llamados "probadores" de capacitancia no pueden verificar efectivamente un capacitor electrolítico. Los capacitores electrolíticos, a menudo, fallan o requieren ser reemplazados debido a un aumento en su resistencia en serie equivalente. La mayoría de los probadores de capacitancia no miden la resistencia en serie equivalente de los capacitores que están probando.

Electrolíticos de Tantalio. Estos capacitores electrolíticos utilizan el tantalio como material para

el ánodo. Los capacitores de tantalio tienen una mayor capacitancia con respecto a su volumen, presentan menor fuga y son más confiables que los electrolíticos de aluminio. También son más caros que los de aluminio. Los electrolíticos de tantalio no se fabrican con especificaciones de voltajes mayores de aproximadamente 50 voltios.

2. Los capacitores no-polares no son sensibles a la polaridad del voltaje aplicado. Se clasifican de acuerdo al material usado como dieléctrico.

De papel. Los capacitores de papel son muy comunes en instrumentos antiguos, pero hoy en día ya casi no se usan. Han sido sustituidos por capacitores de película plástica. Los capacitores tienden a fallar generando cortocircuitos o circuitos abiertos intermitentes.

De cerámica. Los capacitores de cerámica tienen características de frecuencia elevada relativamente buena. No presentan buena estabilidad de capacitancia y generalmente se emplean en circuitos donde el valor real de la capacitancia no es crítica, es decir, en circuitos de paso. Los capacitores de cerámica pueden fallar produciendo circuitos abiertos, cortocircuitos o circuitos abiertos intermitentes.

Película plástica. Los capacitores de película plástica se fabrican utilizando muchos tipos de película plástica. Los materiales más comúnmente usados son el Mylar y el poliestireno. Los capacitores plásticos son los más usados en la construcción de circuitos electrónicos. Cuando fallan, casi siempre lo hacen como circuito abierto. Esto permite su fácil revisión, colocando simplemente otro capacitor en paralelo y ver si el problema se corrige.

De mica. Los capacitores de mica son muy estables en valor y presentan excelentes características de frecuencia elevada. No se fabrican con capacitancias mayores de 0.01 microfaradios. Cuando fallan producen corto circuito o un circuito abierto intermitente.

Capacitores de aceite. Los capacitores de aceite se emplean principalmente para el arranque y movimiento de motores, almacenamiento de energía y como factores de corrección de potencia y para inversión de fases en voltajes de CA. Se presentan con capacitancia de 0.001 a 50 microfaradios. Tienen a ser de gran tamaño físico y, generalmente, fallan por fugas del dieléctrico. El aceite empleado, especialmente en aquéllos fabricados antes de 1973, puede contener bifenil policlorinado o PCB (por sus siglas en inglés). La exposición prolongada al PCB puede causar cáncer.

Consulte los cuadros V, VI y VII para obtener información más detallada sobre los capacitores, los dieléctricos y sus aplicaciones.

Celdas

A menudo se utilizan los términos "celda" y "batería" indistintamente, sin embargo, esto es incorrecto. Una celda se puede usar individualmente o se pueden conectar varias celdas juntas para formar una batería. Por lo general, las celdas se clasifican en dos grupos principales: celdas primarias, las cuales se utilizan hasta que la tensión de salida es demasiado baja para el trabajo útil; y las celdas secundarias, las cuales son recargables. En el apéndice D se proporciona mayor información sobre estos componentes.

Semiconductores

Los semiconductores vienen en muchas variedades. Se caracterizan por la presencia de una unión semiconductor. Se clasifican en dos grandes áreas: Bipolares y Unipolares.

Diodos

Los diodos son dispositivos semiconductores que presentan una sola unión. La corriente fluye solamente en una dirección. Existen numerosos tipos de diodos. Pueden fallar abiertos o en corto.

Diodos o Rectificadores. Estos diodos se caracterizan por su elevada especificación de corriente y voltaje. Se utilizan más usualmente como reactivadores en fuentes de poder u otras aplicaciones que requieren corrientes relativamente elevadas.

Diodos de señales. Estos son físicamente más pequeños que los diodos rectificadores y tienen especificaciones de voltaje o corriente, o de ambos, más bajas. Los diodos de señales tienen una capacitancia de unión mucho más baja, lo que permite su uso para frecuencias más elevadas o en aplicaciones de conmutación.

Existen muchos otros tipos de diodos como los Diodos Emisores de Luz (LED, por sus siglas en inglés), Diodos Zener, etcétera.

Transistores

Los transistores son dispositivos de tres terminales, que contienen dos o más uniones. Se pueden obtener de múltiples tipos, con diferentes especificaciones de voltaje, corriente o potencia y

con diferentes polaridades. Por lo general, fallan en las uniones. La unión puede convertirse en corto o en circuito abierto, aunque las fallas de corto circuito son más comunes en los transistores de potencia elevada. Consulte el apéndice A para mayor información sobre los transistores.

Circuitos integrados

En general, todos los comentarios sobre los transistores se aplican a los circuitos integrados. Debido al número de terminales ("patitas" o "pins") debe tenerse cuidado al desmontar un circuito integrado para evitar daños al mismo, al resto del circuito o a la tarjeta de circuito impreso. Se requiere especial cuidado cuando un circuito integrado no está montado en una base y debe desoldarse. Un circuito integrado puede ser fácilmente dañado por el exceso de calor del caudín al soldar o desoldar el circuito de su tarjeta. Por lo general, los circuitos integrados son más susceptibles a sufrir daños por electricidad estática que los transistores. Los circuitos integrados MOS (por sus siglas en inglés, semiconductor de óxido metálico) son especialmente vulnerables.

Fusibles

Los fusibles son dispositivos de dos terminales que prácticamente existen en todos los aparatos. Los fusibles tienen por objeto proporcionar protección contra incendios o contra el daño que puede causarse en el aparato en sí por la falla de un circuito o componente dentro del mismo instrumento. Los fusibles son componentes electrónicos únicos, ya que se puede decir que un fusible ha cumplido su función cuando falla, se funde o abre un circuito. Una vez que un fusible ha realizado su función debe ser reemplazado.

Los fusibles se caracterizan por diversos parámetros.

Especificación de corriente. Es el valor de la corriente que, al ser excedida, hace que el elemento del fusible se funda produciendo circuito abierto.

Velocidad. ¿Cuánto tiempo después de que se ha igualado o excedido la especificación de corriente se abrirá el circuito? Los fusibles se clasifican en dos grandes categorías de acuerdo a su velocidad de fusión: fusibles rápidos y lentos. Hay numerosas variaciones, que van desde los ultrarrápidos hasta los de retraso prolongado.

Especificación de voltaje. Los fusibles se clasifican por el voltaje que puede ser interrumpido con fiabilidad por el fusible cuando se abre el circuito. Cuando un fusible se abre, el voltaje que puede aparecer en el fusible puede producir un arco, lo cual puede mantener la continuidad eléctrica. Es importante que no se mantenga el arco para que el circuito se abra y evitar el flujo de más corriente.

Los **interruptores de circuitos** son la combinación funcional de un fusible y un interruptor. Los interruptores de circuito tienen una ventaja sobre los fusibles por el hecho de que pueden reajustarse. Cuando se excede la especificación de corriente de un interruptor de circuito, éste se abre automáticamente, lo cual interrumpe el circuito. El interruptor puede ser activado manualmente y reajustarse para que funcione de nuevo. No tiene que ser reemplazado después de ejercer su función, como sucede con los fusibles. Los interruptores de circuito están diseñados con uno de dos mecanismos de acción: térmico o magnético.

Térmico. En un interruptor térmico de circuito la corriente a través del mismo pasa por un calentador, que activa la porción del interruptor cuando se excede cierta temperatura.

Magnético. En un interruptor magnético de circuito, el campo magnético producido por la corriente que pasa a través del mismo activa al interruptor si se excede un valor preestablecido. Los interruptores magnéticos actúan mucho más rápidamente que los interruptores térmicos. Un interruptor térmico puede requerir de 0.2 a 0.5 segundos para abrirse, mientras que uno magnético abre en 0.05 segundos, bajo las mismas condiciones.

Los fusibles y los interruptores de circuito cambiarán sus características de especificación dependiendo de la temperatura ambiental a la cual operan, con la vibración, el envejecimiento y otros factores ambientales. Los interruptores de circuito, especialmente los térmicos, cambiarán sus características después de repetidas actuaciones. Es importante reemplazar un fusible o un interruptor de circuito por otro de las mismas características. Es particularmente dañino reemplazar un fusible rápido o regular por uno lento. Puede causarse daño severo en el circuito debido al tiempo de acción más prolongado. Consulte el Apéndice B.

En el medio Latinoamericano es muy frecuente sustituir fusibles de baja potencia por otro de mayor o por un alambre, esto puede acarrear más daño a los aparatos que muchas veces los vuelve inservibles.

Cuadro IV - I. Valores para resistores estándar de composición de carbón en ohmios, kilo - y megaohmios.

20%	5 y 10%	1%	20%	5 y 10%	1%	20%	5 y 10%	1%
10	10	10			1300		180k	180k
		11	1500	1500	1500			200k
	12	12			1600	220k	220k	220k
		13		1800	1800			240k
15	15	15			2000		270k	270k
		16	2200	2200	2200			300k
	18	18			2400	330k	330k	330k
		20		2700	2700			360k
22	22	22			3000		390k	390k
		24	3300	3300	3300			430k
	27	27			3600	470k	470k	470k
		30		3900	3900			510k
33	33	33			4300		560k	560k
		36	4700	4700	4700			620k
	39	39			5100	680k	680k	680k
		43		5600	5600			750k
47	47	47			6200		820k	820k
		51	6800	6800	6800			910k
	56	56			7500	1.0M	1.0M	1.0M
		62		8200	8200			1.1M
68	68	68			9100		1.2M	1.2M
		75	10k	10k	10k			1.3M
	82	82			11k	1.5M	1.5M	1.5M
		91		12k	12k			1.6M
100	100	100			13k		1.8M	1.8M
		110	15k	15k	15k			2.0M
	120	120			16k	2.2M	2.2M	2.2M
		130		18k	18k			2.4M
150	150	150			20k		2.7M	2.7M
		160	22k	22k	22k			3.0M
	180	180			24k	3.3M	3.3M	3.3M
		200		27k	27k			3.6M
220	220	220			30k		3.9M	3.9M
		240	33k	33k	33k			4.3M
	270	270			36k	4.7M	4.7M	4.7M
		300		39k	39k			5.1M
330	330	330			43k		5.6M	5.6M
		360	47k	47k	47k			6.2M
	390	390			51k	6.8M	6.8M	6.8M
		430		56k	56k			7.5M
470	470	470			62k		8.2M	8.2M
		510	68k	68k	68k			9.1M
	560	560			75k	10M	10M	10M
		620		82k	82k			11M
680	680	680			91k		12M	12M
		750	100k	100k	100k			13M
	820	820			110k	15M	15M	15M
		910		120k	120k			16M
1000	1000	1000			130k		18M	18M
		1100	150k	150k	150k			20M
	1200	1200			160k	22M	22M	22M

Cuadro IV- II. Guía para la aplicación de potenciómetros

Evítese	Hágase
Potenciómetros dañados o que no pueden funcionar	Monte los potenciómetros sólo sobre superficies planas. Apriete los tornillos o tuercas con fuerza razonable. Sea cuidadoso con las terminales y cables (una fuerza excesiva puede producir una reacción retardada). Cuando emplee disolventes, hágalo escasamente. Antes de sumergir cualquier potenciómetro en un disolvente, asegúrese de cuánto disolvente puede aguantar.
Falla o degradación de los potenciómetros resultante de los efectos del calor (ya sea autogenerado o producido externamente)	Haga funcionar los potenciómetros dentro de sus especificaciones de corriente y potencia. Evite someter el circuito del elemento deslizante a corrientes que excedan sus especificaciones (que a menudo son menores que las permisibles a través del elemento resistivo del potenciómetro). Cuando use un potenciómetro como reóstato, conecte el elemento deslizante al extremo que no está en uso. Esto ayuda a disipar el calor y reduce la carga del elemento deslizante cuando está cerca o a resistencia mínima. Nunca use un VOM común para medir la resistencia del extremo en un circuito deslizante. Use un óhmetro digital. Cuando el circuito lo permite, conecte un resistor fijo en serie con el potenciómetro para limitar la corriente que lo atraviesa a un nivel de seguridad. Diseñe los circuitos asociados de tal manera que no puedan causar flujo excesivo de corriente a través del elemento deslizante.
Daño a los componentes de circuitos asociados causados por ajuste de potenciómetro.	Cuando diseñe circuitos que contengan potenciómetros, asegúrese de que ningún ajuste del potenciómetro causará daños en los otros componentes. Tenga presente el efecto de dominó.
Para los potenciómetros preajustables rectangulares o cuadrados: Potenciómetros dañados o inoperantes.	Nunca "economie" al intentar usar el cuerpo de un potenciómetro preajutable como sujetador de cable.
Para potenciómetros con terminales de punta: Circuitos abiertos o conexiones que causen "ruido"	Doble o forme terminales de punta con cuidado. Evite excesos al doblar, formar, o enrollar.
Potenciómetros con terminales soldadas: Degradación eléctrica y mecánica.	Aplique sólo suficiente calor para lograr una buena unión de soldadura. Si emplea soldadura de ola, mantenga el tiempo al mínimo sin afectar el resultado. El tiempo excesivo produce acumulación de calor.
Contactos "ruidosos" o intermitentes.	No use pasta para soldar. La soldadura viene ya preparada con su pasta o fundente.
Para potenciómetros montados en paneles mediante guías de rosca: Envoltura dañada, aumento de la fuerza de rotación, pérdida de linealidad y el eje o flecha fuera de alineación. Desgaste de la rosca o ensamblado flojo.	Proporcione un agujero en el panel, que corresponda a la terminal antirotatoria del potenciómetro o córtela. Emplee guías con rosca de longitud suficiente para que la tuerca penetre completamente. Nunca trate de economizar, haciendo que el potenciómetro realice una doble función como sujetador de otros componentes.
Daño en el sistema mecánico de tope.	Use un botón de tamaño razonable para evitar sobretensión en el tope mecánico. "Un botón grande en un potenciómetro pequeño es una invitación a la presencia de fallas."
Diversidad de fallas mecánicas	Proporcione soporte para cualquier panel o chasis que tenga un eje de potenciómetro salido. Nunca coloque un conjunto tal, reclinado con el eje soportando todo el peso
Usar el potenciómetro como un manguillo para levantar un chasis, tarjeta de circuito, etcétera	

Cuadro IV - III. Valores de resistores variables

Componente	Material	Valores de potencia	Márgenes de resistencia	Tipos	Aplicaciones y Comentarios
Potenciómetro	Composición de carbón moldeado	2 W	50 a 5M	Unico, doble, con interruptor, lineal con derivación, logarítmico con derivación generalmente de una vuelta	Uso general, cuando no se requiere para condiciones críticas de temperatura y ambientales. De menor costo y fácil de obtener.
Potenciómetro (reóstato)	Alambre enrollado en un núcleo de cerámica cubierto de esmalte porcelanizado	7.5W a 1000W 1 a 25k 0.5 a 50k	1 a 15k 10 a 5k	Reóstato de 2 terminales Potenciómetro de 3 terminales. Alambre deslizante y multivuelatas	Corriente alta (potencia alta) Lineal con derivación y bajo valor de CT. Mucho más costoso que el de composición de carbón
Potenciómetro de precisión	Alambre enrollado, Cermet y plástico conductor	1.5W a 20W	3 a 32.3k 5 a 53.8k 40 a 2M 10 a 125k 5k a 100k	Multivuelatas 1, 3, 5, 10, 15, 25, 40. Servomontaje y de rosca; cojinete de bola o de manga.	Se emplean donde se requiere linealidad extrema. Linealidad de 0.35% a 0.5%. El más costoso de todos, a excepción de algunos de alta potencia de alambre enrollado.
Potenciómetros preajustables	Composición de carbón	1/4W	100 a 10M	Rango de ajuste 225 y 270	Calibración y ajuste de circuitos. Pobre CT. Muy bajo costo.
Potenciómetros preajustables	Alambre enrollado	3/4W a 1.5W	10 a 10k 10 a 20k 10 a 50k	Una vuelta y multivuelatas (20, 22 y 23)	Usados para ajustes de precisión y calibración y donde la temperatura es crítica. El de mayor costo.
Potenciómetros preajustables	Cermet (cerámica-metal)	1/2W a 1.5W	10 a 2M 10 a 1M	Una vuelta y multivuelatas (15, 20, 22, 23). Rectangular, cuadrado, redondo.	Para ajustes de precisión y CT relativamente bajo (50 a 150 ppm/°C) y calibración de circuitos. Precio entre el de carbón y el de alambre.

Algunos usos generales de los resistores variables son para ajuste de voltaje y de corriente, control de volumen, control de ganancia, control de velocidad de motor, control de luz, ajuste de resistencia de circuito, así como ajuste y calibración de circuito.
CT = Coeficiente de temperatura.

Cuadro IV - IV. Resistores de valor variable

Tipo de elemento	Margen asegurable de resistencia	Capacidad de manejo de potencia	Margen de frecuencia útil	Durabilidad mecánica	Estabilidad	Capacidad de resolución	Capacidad de ajuste
Alambre enrollado	1 a 200k	1	6	3	1	3	6
Película metálica	10 a 500k	5	1	5	3	1	3
Composición de carbón	50 a 1000M	3	3	1	4	1	2
Película de carbón	100 a 1M	6	1	6	6	1	4
Plástico conductor	50 a 5M	4	1	4	5	1	5
Cermet	10 a 5M	2	2	2	2	2	1

Escala de clasificación: 1 el mejor; 6 el peor.

Cuadro IV - V. Comparación de los dieléctricos usados en los capacitores

Aplicación	Mica	Cerámica	Electrolítico	Papel Metalizado	Papel en aceite	Mylar/Hoja	Policarbonato Metalizado	Policésteres Hoja	Mylar Metalizado
Acoplamiento	Elevada Corriente	Si Alta frecuencia	Si Baja impedancia	Si	No	Si	Si	Ocasional	Si
De paso	Si Alta frecuencia Económico	Si Hasta 10MHz	Si	Si	Ocasional	Si	Si	No	Si
Sintonía (Determinación neta de frecuencia)	Si	Si	No	No	No	No	Si	Si	No
Cronometración	Rango en ms	Tiempo corto	Retraso largo	No usual	Rara vez	Rara vez	Si	Si	Rara vez
Supresión de rizados	No	Sólo en RF	Si Uso principal	Ocasional	Ocasional	Si	Ocasional	No	Ocasional
Supresión de arcos	Rara vez	Ocasional	Rara vez	Si	No	Si	Ocasional	No	Ocasional
Almacén de energía	Ocasional Voltaje elevado	Tiempo rápido de subida	Corta vida Equipo portátil de luz	Ocasional	Si	Ocasional	Rara vez	Casos especiales	No
Corrección de factor de potencia	No	No	No	No	Si	No	No	No	No
Arranque de motor	No	No	Si	No	Si	No	No	No	No
Motor en funcionamiento	No	Algunos especiales	No	Ocasional	Si	Ocasional	No	No	No
Características									
Margen de capacitancia	1 - 100000 pF	1 pF - 10 μ F	0.1 μ F - 0.5 F	0.001 - 10 μ F	0.001 - 50 μ F	0.001 - 12 μ F	0.001 - 12 μ F	10 pF - 1 μ F	0.001 - 12 μ F
Margen de voltaje	1 V - 50 kV	3 V - 40 kV	3 - 450	200 - 6000	100 - 100 kV y a 75 kV AC	50 - 1000	50 - 100	50 - 1000	50 - 600
Margen de temperatura en °C	-60 a 125	-55 a 125	-55 a 125	-55 a 125	-55 a 125	-55 a 150	-55 a 125	-55 a 85	-55 a 125
Tolerancia	± 5 a 20%	+1% a VGM	+5% a VGM	± 5 a 20%	± 2 a 20%	± 1 a 20%	± 1 a 20%	± 0.1 a 20%	± 1 a 20%
Costo	Modesto	De bajo a elevado, para unidades de alta capacitancia	Bajo/ μ F	Modesto	Bajo	Bajo	Elevado	Elevado	Modesto

Cuadro IV - VI. Aplicaciones y características de los capacitores

Tipo de capacitor	Aplicaciones y características
Mica	Acoplamiento de alta frecuencia, circuitos de cronometración, y redes de filtros. Baja fuga y estabilidad excelente. Bueno para uso industrial crítico y de alta confiabilidad. Valores: 1.0 pF a 0.1 μ F; 100 a 2000 V. Tolerancia de 0.5 a 5.0%; CT de 20 a 200 ppm/ $^{\circ}$ C.
Cerámica de pérdida baja	Acoplamiento de alta frecuencia, cronometración, filtros, ajuste de circuitos sintonizados. Bueno para circuitos donde la temperatura es un factor de consideración. Tamaño muy pequeño para alta densidad de montaje. Valores: 10 pF a 4.7 μ F; 50 a 100 V. Tolerancia de 1 a 20%; CT de 0 a 30 ppm/ $^{\circ}$ C.
Disco estándar de cerámica	Costo reducido y tamaño pequeño para acoplamiento y desvío en circuitos IF y RF. Valores: 1.0 pF a 0.22 μ F; 3 a 10000 V. Tolerancia de 20 a 100%.
Cerámica de alto voltaje	Sus usos incluyen aplicaciones de filtro, duplicadores y de paso (desvío) en suministros de alta tensión y transmisores de radio. Valores: 180 a 16000 pF; 6 a 40 kV. Tolerancia +50%, -20%.
Cerámica de RF y de potencia	Se emplean en mecanismos de conexión de potencia, hornos de microondas, purificadores industriales de aire, transmisores militares y comerciales aerotransportados. Valores: 10 a 10000 pF; 6 a 40 kV. Corrientes RF hasta de 200 A.
Policarbonatos y teflón	Propósito general y uso CA a frecuencias intermedias, aprox. 1 MHz. Bueno para circuitos industriales críticos y de alta confiabilidad y donde se presentan corrientes elevadas (ej: arranque de motor, y otras aplicaciones de cambios bruscos de corriente elevada) Valores: 0.001 a 22 μ F; 30 a 400 V. Tolerancia de 0.25% a 10%.
Hojas de Mylar y de papel	Propósito general y de CA (ej: acoplamiento y desvío). Fuga extremadamente baja, excelente para circuitos de cronometración, redes de filtros de baja frecuencia y sensores de voltaje. Valores: 0.001 a 10 μ F; 50 a 600 V. Tolerancia de 5 a 10%.
Electrolíticos de aluminio	Costo reducido, utilizado para filtrar CD intermitente para fuentes de poder, desvío de bajas frecuencias. Fuga relativamente alta. Valores: 1 a 270000 μ F; 3 a 450. Estos capacitores son polarizados.
Tantalio	Compactos, baja fuga, tamaño pequeño y alta capacitancia. Buenos para uso industrial crítico y de alta confiabilidad. Por lo general son polarizados, pero también existen tipos no polarizados. Pueden funcionar hasta a 175 $^{\circ}$ C. Tienen los mismos usos que los electrolíticos de aluminio, pero son superiores en funcionamiento. Valores: 1 a 1200 μ F; 3 a 300 V. Tolerancia de 5 a 20%.
Polisulfona	Igual que los de policarbonato, pero pueden funcionar hasta a 150 $^{\circ}$ C con un CT muy bajo.
Variables de aire y de cerámica	Utilizados para sintonía y ajuste de circuitos de RF en equipo de radiotransmisores y receptores. Sus valores varían en diversos niveles de mínimo - máximo. También se emplean para sintonía y ajuste de microondas, equipo VHF y UHF. Su CT varía de 50 a 1500 ppm/ $^{\circ}$ C.

CT = coeficiente de temperatura

Cuadro IV - VII. Capacitores con dieléctrico de plástico y de papel.

Dieléctrico	Electrodo	Factor de volumen	Factor de disipación 25°C/1000Hz (%)	Resistencia de aislamiento (MEG x MFD) 25°C	Máxima temperatura operacional en °C	Factor de costo	Propiedades sobresalientes
Papel	Hoja Metalizado	0.30	0.60	20,000	125	1.0	Bajo costo Tamaño pequeño
		0.10	0.65	2,000	125	1.1	
Papel-Poliéster	Hoja Metalizado	0.46	0.45	20,000	125	3.0	La más alta confiabilidad
		0.17	0.50	2,000	125	1.3	
Poliéster	Hoja	0.25	0.30	50,000	150	2.1	Alta temperatura Tamaño pequeño
	Metalizado	0.14	0.45	25,000	125	1.7	Resistente a la humedad Elevada resistencia de aislamiento
Policarbonato	Hoja	1.0	0.10	100,000	125	2.7	Tolerancia estrecha Estabilidad elevada
	Metalizado	0.14	0.25	100,000	125	1.8	Buena capacidad de alta frecuencia Elevada resistencia de aislamiento
Polisulfona	Metalizado	0.14	0.10	100,000	150	1.8	Elevada resistencia de aislamiento
Polipropileno	Hoja	1.2	0.05	100,000	105	1.5	Bajo costo Buena capacidad de alta frecuencia
	Metalizado	0.8	0.10	10,000	105	2.0	Elevada resistencia de aislamiento
Acetato de celulosa	Metalizado	0.06	1.5	5,000	85	1.7	El más pequeño
Poliestireno	Hoja	1.4	0.025	250,000	85	3.3	Tolerancia estrecha Alta estabilidad
Poliéster-poliestireno	Hoja	1.5	0.20	100,000	125	2.8	Alta estabilidad Poco cambio de capacitancia con la temperatura

APENDICE A

CAPITULO IV

CARACTERISTICAS ESENCIALES DE LOS TRANSISTORES

Selección del semiconductor apropiado para sus necesidades (Sustitución).

Como usted bien sabe, la herramienta principal para seleccionar el semiconductor adecuado que cumpla con los requisitos especificados es la hoja de datos técnicos. Sin embargo, para poder usar las hojas de datos en forma efectiva, deben conocerse los parámetros más importantes empleados en la especificación de los semiconductores y que se aplican a todos los tipos. Temperatura de unión máxima permisible [T_j (MAX)]. Temperatura de la envoltura máxima permisible [T_c (MAX)] y Resistencia térmica de la unión a la envoltura ($R_{\theta jc}$).

Es indudable que existen parámetros básicos para cada tipo de familia, que son esenciales y que el usuario del semiconductor debe conocer.

SCR (RECTIFICADOR CONTROLADO DE SILICIO)

1. $I_{T(av)}$. Corriente máxima permisible en sentido directo promedio a un ángulo específico de conducción y temperatura de envoltura. Si se especifica un ángulo de conducción de 180° , este parámetro deberá ser igual a $I_{F(av)}$ de un rectificador. Sin embargo, a diferencia de un rectificador, el ángulo de conducción de un SCR puede controlarse de 0 a 180° (característicamente, una hoja de datos enlista cinco o seis de estos ángulos). El ángulo de conducción define esa parte de la onda sinusoidal durante la cual el aparato está conduciendo corriente.

2. V_{RRM} . Voltaje de bloqueo reversible repetitivo máximo. Aquí se aplican los mismos comentarios que para V_{RRM} de un rectificador. El SCR además de tener la capacidad de bloqueo reversible también bloqueará voltaje en dirección directa. V_{DRM} es la designación para el valor máximo del voltaje de bloqueo repetitivo directo. La mayoría de los diseños de SCR son de naturaleza simétrica, es decir que la capacidad de bloquear corrientes directas o inversas repetitivas es igual ($V_{DRM} = V_{RRM}$). Ambas clasificaciones de voltaje repetitivo (V_{RRM} y V_{DRM}) tienen sus voltajes no-repetitivos correspondientes, V_{RSM} y V_{DSM} .

3. V_{TM} . Caída máxima de voltaje directo a una corriente directa y temperatura específica de la envoltura. Aquí se aplican los mismos comentarios que para el V_{FM} en un rectificador.

4. I_{RRM} . Corriente de fuga reversible máxima en V_{RRM} . De nuevo, como en un rectificador, es deseable tener corrientes bajas de fuga, son deseables las I_{RRM} puesto que se disipará menos potencia en el modo de bloqueo (estado de apagado). Además, como un SCR tiene capacidad para voltaje directo repetitivo, V_{DRM} , por consiguiente tiene también una corriente de fuga directa, I_{DRM} .

5. I_{TSM} . Pico máximo de corriente de sobretensión momentánea para un número dado de ciclos a 60 Hz. Tal como en un rectificador, esta característica es por definición no-repetitiva y puede ocurrir solamente 100 veces durante la vida del dispositivo. Además, después de esta sobretensión momentánea de la corriente, el voltaje de bloqueo directo repetitivo no se garantiza. Se emplea un parámetro asociado, I_t^2 , para coordinar el fusible.

6. I_{GT} . Corriente mínima de CD de compuerta para disparar un SCR a condiciones establecidas de temperatura y voltaje de bloqueo directo. Esta característica especifica la cantidad mínima absoluta de corriente que debe proporcionarse de una fuente lógica para conmutar al SCR del voltaje de bloqueo (estado apagado) a corriente conductora (estado de encendido). Para mayores informes, consulte el SCR Gate Turn-on Characteristics Application Data Sheet.

7. di/dt . Máxima frecuencia de elevación de corriente pico permisible con respecto al tiempo de encendido del SCR. Puesto que un SCR requiere de un tiempo finito para encenderse, solamente una porción muy pequeña de la unión conduce corriente en el momento en que se enciende el dispositivo. Si la corriente se está acumulando muy rápidamente, toda ella debe pasar por esta pequeña región. Cuando se excede el límite especificado de di/dt , el dispositivo puede desarrollar un punto caliente que es capaz de destruir la unidad. Esto por lo general no representa un problema para los usos de control de fase de 60 Hz, pero se convierte en un problema en

aplicaciones de conmutación de CD (por ejemplo, inversores) o en circuitos de descarga de capacitores. Al comparar las especificaciones di/dt de los diversos fabricantes, asegúrese de que las especificaciones sean tanto repetitivas y no-repetitivas y que estén basadas en las mismas condiciones de prueba.

8. dv/dt . Frecuencia mínima de elevación de voltaje de pico con respecto al tiempo en que se cambia del estado de apagado al de encendido. Cuando se excede el límite dv/dt , el peligro potencial existente es que puede dispararse de nuevo el SCR cuando debería estar apagado. Tal como sucede con di/dt esto es sólo un problema en usos de pulsos cuadrados o en aplicaciones de paso. Revise todas las condiciones de prueba al verificar las especificaciones dv/dt de los diferentes fabricantes; dv/dt puede expresarse ya sea como una función lineal o como una exponencial.

9. t_{on} . Tiempo requerido para que la corriente directa alcance el 90% de su valor final (o máximo) al cambiar del estado de apagado al estado de encendido, bajo condiciones específicas. Los tiempos de conmutación son importantes por dos razones; afectan la frecuencia superior a la cual puede ser operado el dispositivo y hasta cierto grado determinan la eficiencia del sistema. Al considerar la frecuencia de operación (o en aplicaciones de pulsos, el ancho deseado de pulso) esto se reduce simplemente a que si el dispositivo puede encenderse o apagarse lo suficientemente rápido para satisfacer los requisitos. Las pérdidas de potencia al cambiar del voltaje de bloqueo a la corriente de conducción puede ser una consideración significativa en la determinación de la eficiencia.

10. t_{off} . Tiempo de apagado que se relaciona con el tiempo requerido por un SCR para cambiar de corriente de conducción a voltaje directo de bloqueo. El tiempo de apagado es importante esencialmente por las mismas razones que lo es el tiempo de encendido. El tiempo de apagado no es crítico en la mayoría de las aplicaciones de control de fase de 60 ciclos; sin embargo, existe una clase especial de SCR denominados "de conmutación rápida", que se emplean en los inversores, interruptores periódicos y otros circuitos de alta frecuencia. En este tipo de aplicaciones, el diseñador debe ser cuidadoso en seleccionar un dispositivo que ofrezca la combinación óptima de capacidad de manejo de corriente, de capacidad de bloqueo de voltaje y tiempo de apagado. Debido a la gran variedad de aplicaciones de conmu-

tación rápida, las condiciones de apagado especificadas en las hojas de datos no reflejan necesariamente las condiciones reales de operación de un circuito.

Póngase en comunicación con el fabricante o distribuidor correspondiente si requiere ayuda para seleccionar el dispositivo apropiado.

TRANSISTORES

1. I_C . Corriente del colector. En la mayoría de las aplicaciones, ésta es la corriente que se manipula para realizar alguna función deseada. En un regulador en serie, por ejemplo, la corriente del colector puede ser aumentada o disminuida controlando la corriente en la base, dependiendo de lo que requiera la carga.

2. V_{CE} . Voltaje del colector al emisor. Esto es similar a V_{RRM} en los rectificadores y los SCR en cuanto a que representa la capacidad de bloqueo del dispositivo en el estado de apagado. Existen numerosas designaciones relacionadas, V_{CEO} , V_{CES} , V_{CER} , etcétera. Difieren sólo en la tercera letra subscripta, la cual indica la condición de la base: O-abierto, R-Resistor, S-cortocircuito, etcétera.

3. $V_{CE(SAT)}$. Voltaje de saturación del colector-emisor. Al excitar la base de un transistor, se alcanza un punto donde la corriente de base incrementada ya no resulta en un voltaje disminuido del colector-emisor. Esto es la saturación, $V_{CE(SAT)}$ es una medida del voltaje a través de la unión bajo saturación y es comparable a la caída del voltaje directo en los rectificadores y en los SCR. $V_{CE(SAT)}$ e I_C llevan a pérdida de potencia en los transistores durante el funcionamiento saturado, y son por lo tanto factores importantes de considerar.

4. $V_{BE(SAT)}$. Voltaje de saturación en la base-emisor. Los mismos comentarios generales para $V_{CE(SAT)}$ se aplican aquí, excepto que ahora se refieren a una condición de base-emisor más que a una de colector-emisor. Valores altos de $V_{BE(SAT)}$ o variaciones grandes causarían cambios correspondientes en $V_{CE(SAT)}$.

5. I_{CEO} . Corriente de fuga del colector al emisor, con la base abierta. Esta es generalmente la principal fuente de fuga en un transistor. Esta característica es comparable a I_{RRM} en los rectificadores y en los SCR. Aunque son deseables valores bajos de fuga para minimizar las pérdidas de potencia, la fuga baja no es necesariamente sinónimo de confiabilidad.

6. **I_B**. Corriente de base. La función de la corriente de base en un transistor es similar a la corriente de compuerta en un SCR. Sin embargo, en un transistor debe proporcionarse corriente a la base durante todo el tiempo que el transistor debe permanecer encendido, mientras que el SCR sólo requiere un pulso de corriente inicial para encenderse.

7. **SOA** (por sus siglas en inglés, Safe Operating Area). Área de funcionamiento seguro, es una gráfica de corriente-voltaje, la cual describe un área en la cual puede funcionar el transistor con seguridad. Se proporciona un límite de tiempo para el voltaje y la corriente del colector que puede ocurrir simultáneamente en el transistor. Las especificaciones SOA de polarización directa requieren que la unión base-emisor esté polarizada en forma directa durante todo el tiempo en que existe una condición de potencia pico y, por lo general, se mide en un circuito resistivo. Un término relacionado es corriente directa estabilizada, y se expresa con el símbolo I_{SR} . El funcionamiento seguro de un transistor durante la conmutación inductiva, cuando un transistor en serie con un inductor está entrando al estado de apagado, requiere tomar en cuenta otras características. La inductancia va a mantener el flujo de corriente

por un tiempo. Durante este tiempo el voltaje está aumentando a través del transistor, originando un producto de $V \times I$ o disipación de potencia. Debido a que la unión base-emisor está en polarización inversa, el transistor no puede disipar tanta potencia. La energía que un transistor puede soportar se designa con la abreviatura **ESR**. Las especificaciones de conmutación inductiva pueden ser usadas como una guía para comparar capacidades de transistores, pero las capacidades reales deben ser verificadas en los circuitos mismos.

8 y 9. **t_{on}** y **t_{off}**. Tiempo de encendido y de apagado. Estos son parámetros importantes en los transistores; esencialmente, por las mismas razones dadas para los SCR.

10. **h_{FE}**. Parámetro híbrido que representa la ganancia del transistor en configuración de emisor común.

$$h = \frac{I_C}{I_B}$$

Consulte el Cuadro I para mayor información sobre los tipos de transistores, sus características y aplicaciones.

CUADRO IV(A)-I: Parámetros básicos de los semiconductores.

Familia tipo	Control de entrada	Salida	Pérdidas	Sobrecarga	Otras especificaciones
Rectificadores	Ninguno	$I_{F(av)}^{(1)}$ $V_{RRM}^{(2)}$	$V_{FM}^{(2)}$ $I_{RRM}^{(4)}$	$I_{FSM}^{(5)}$	$I_{GT}^{(6)}$
SCRs	$I_{GT}^{(6)}$	$I_{T(av)}^{(1)}$ $V_{RRM}^{(2)}$	$V_{TM}^{(3)}$ $I_{RRM}^{(4)}$	$I_{TSM}^{(5)}$	$di/dt^{(7)}$ $dv/dt^{(8)}$ $t_{on}^{(9)}$ $t_{off}^{(10)}$
Transistores	$I_B^{(6)}$	$I_c^{(1)}$ $V_{CE}^{(2)}$	$V_{CE(SAT)}^{(3)}$ $V_{BE(SAT)}^{(4)}$ $I_{CED}^{(5)}$	Ninguna $t_{off}^{(9)}$	SOA ⁽⁷⁾ $t_{on}^{(8)}$ $h_{FE}^{(10)}$

APENDICE B

CAPITULO IV

CONOCIMIENTOS SOBRE FUSIBLES¹

El propósito de este apéndice es promover una mejor comprensión tanto de los fusibles como de los detalles de sus aplicaciones más comunes. Los fusibles son dispositivos sensibles a la corriente, que se diseñan como el eslabón intencionalmente débil de un circuito eléctrico. Su función consiste en proporcionar protección al circuito al fundirse en forma segura ante condiciones de sobrecarga. Cubriremos algunos conocimientos importantes sobre los fusibles, los aspectos a considerar para su selección y algunas normas respecto a los fusibles.

Datos sobre fusibles

Para poder seleccionar en forma apropiada un fusible para una aplicación específica deberán entenderse completamente los siguientes parámetros o conceptos de aplicación.

TEMPERATURA AMBIENTE: Se refiere a la temperatura del aire que rodea en forma inmediata al fusible y no debe confundirse con la "temperatura del cuarto". En muchos casos, la temperatura ambiente del fusible es considerablemente más alta ya que el fusible se encuentra encerrado (como por ejemplo, en un portafusible montado en un panel) o está montado cerca de otros componentes que producen calor tales como resistores, transformadores, etcétera.

CAPACIDAD DE INTERRUPCION: Véase el inciso sobre especificación de cortocircuito, más adelante.

ESPECIFICACION DE CORRIENTE: Corresponde al valor del amperaje nominal marcado sobre el fusible. Esta se establece por el fabricante como el valor de corriente al cual puede cargarse el fusible con base en un conjunto controlado de condiciones de prueba (ver disminución de especificación).

DISMINUCION DE ESPECIFICACION: Para temperatura ambiente de 25°C, se recomienda que

los fusibles sean operados a no más del 75% de su especificación nominal de corriente bajo condiciones controladas de prueba. Estas condiciones de prueba están especificadas en la Norma 198.G "Fusibles para la Protección de Sobrecorriente Complementaria" de los Underwriters Laboratories² (de los EE.UU.) y su objetivo principal es especificar las normas para pruebas de uso común que se requieren para el control continuo de la fabricación de dispositivos de protección contra incendios, etcétera. Algunas variaciones comunes de estas normas incluyen: empleo de portafusibles totalmente cerrados; resistencias de mayor contacto; movimientos del aire, espigas transitorias y variaciones en los tamaños de los cables de conexión (diámetro y longitud). Los fusibles son esencialmente dispositivos sensibles a la temperatura y aun variaciones muy pequeñas en las condiciones controladas de prueba pueden afectar en forma importante la vida de un fusible, cuando éste se carga a su valor nominal, generalmente, expresado como 100% de especificación.

El ingeniero que diseña un circuito debe comprender claramente que el propósito de estas condiciones controladas de prueba es permitir a los fabricantes de fusibles el mantener normas de funcionamiento estandarizadas para sus productos, y por lo tanto él debe tomar en cuenta las condiciones variables de su aplicación. Para compensar estas variables, el ingeniero diseñador de un circuito, el cual está diseñando un circuito libre de problemas con una protección mediante una larga vida del fusible, generalmente cargará su circuito con no más del 75% de la especificación nominal indicada por el fabricante, tomando en cuenta que deberá considerar la sobrecarga y la protección contra el cortocircuito.

Los fusibles bajo consideración son dispositivos sensibles a la temperatura, cuyas especificaciones se han establecido a 25°C de temperatura ambiente. La temperatura del fusible generada por la corriente

1 Traducción del reimpreso del Littelfuse Catalog No. 20, con permiso de Littelfuse, Inc.

2 Organización autónoma privada encargada de normas (EE.UU.). Cada país tiene su propio organismo encargado de las normas correspondientes.

que atraviesa el fusible aumenta o disminuye de acuerdo a los cambios de la temperatura ambiente. La figura 2 muestra el efecto que la temperatura ambiente tiene sobre la especificación nominal de corriente de un fusible. La mayoría de los fusibles "slo-blo" M.R. (lentos) se fabrican con materiales de baja temperatura de fusión y son, por consiguiente, más sensibles a los cambios de la temperatura ambiente.

DIMENSIONES: Las dimensiones de los fusibles varían mucho. A medida que se desarrollaron nuevos productos, los tamaños de los fusibles también evolucionaron para llenar las diferentes necesidades de protección eléctrica de los circuitos. Los primeros fusibles eran simples, de alambre descubierto, seguidos del invento de Edison, al encerrar un alambre delgado en la base de una lámpara en los 1890s, con lo cual se fabricó el primer fusible enchufable. Para 1904, los Underwriters Laboratories ya habían establecido las especificaciones de tamaño y de características eléctricas para cumplir con las normas de seguridad. Los fusibles renovables y los de automóvil aparecieron en 1914 y, en 1927, la Compañía Littelfuse empezó a hacer fusibles de muy bajo amperaje para la creciente industria electrónica.

Los tamaños de los fusibles que se presentan en el cuadro I se iniciaron con los primeros fusibles de vidrio para automóviles ("Automobile Glass"), de donde han tomado la designación de AG. Los números se fueron aplicando en forma cronológica, a medida que los diferentes fabricantes hacían un nuevo tamaño; así, por ejemplo, el 3AG fue el tercer tamaño que se introdujo al mercado. Se fabricaron otros fusibles, no de vidrio, cuyos tamaños y construcciones se determinaban por los requisitos funcionales, pero retenían la longitud o diámetro de los fusibles de vidrio, y su designación fue cambiada por AB en lugar de AG, lo cual indicaba que su tubo exterior estaba fabricado de Baquelita, fibra, cerámica u otro material similar, diferente al vidrio. El tamaño más grande de fusible en este grupo, es decir el 5AG, o "MIDGET" ("ENANO"), nombre adoptado por su uso en la industria eléctrica y el margen asignado por el Código Eléctrico de los EE.UU. el cual normalmente reconoce fusibles de 2" x 9/16" como el fusible estándar más pequeño en uso.

CUADRO IV(B)-I Características de los fusibles

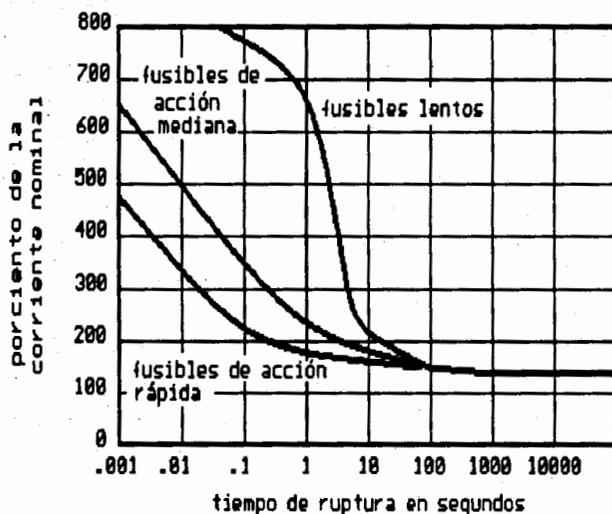
Tamaño	Diámetro pulgadas		Longitud pulgadas	
1AG	1/4	.250	5/8	.625
2AG	-	.177	-	.588
3AG	1/4	.250	1-1/4	1.25
4AG	9/32	.281	1-1/4	1.25
5AG	13/32	.406	1-1/2	1.50
7AG	1/4	.250	7/8	.875
8AG	1/4	.250	1	1

Todos los fusibles, sin importar su tamaño y tipo, tienen especificaciones de corriente y voltaje nominales, y características específicas de fusión. La selección correcta de fusibles para una protección segura de circuitos, de bajo costo y sin complicaciones solamente podrá realizarse una vez que se hayan entendido bien estos tres factores.

CARACTERÍSTICAS DE LOS FUSIBLES: La característica del diseño de un fusible se refiere a la rapidez con que el fusible responde a las diversas sobrecargas de corriente. Las características de los fusibles pueden clasificarse en tres categorías generales: de acción rápida, de acción mediana, y los lentos. La gráfica 1 muestra las curvas tiempo-corriente típicas para las diferentes características de fusión. La especificación de corriente y la característica de fusión son los parámetros necesarios para definir a un fusible, puesto que fusibles con la misma especificación de corriente pueden representarse por curvas de tiempo-corriente muy diferentes. Los fusibles lentos tienen además integrada en su diseño una inercia térmica adicional de tal manera que puedan tolerar cierta cantidad normal de sobrecarga inicial o de arranque.

CAPACIDAD DE RUPTURA: Véase la sección sobre especificación de cortocircuito.

RESISTENCIA: La resistencia de un fusible generalmente corresponde a una parte insignificante de la resistencia total del circuito. Puesto que la resistencia de los fusibles de amperaje fraccional puede ser de varios ohmios, debe tenerse en cuenta este hecho al usarlos en circuitos de bajo voltaje. Los valores reales pueden obtenerse del fabricante. La mayoría de los fusibles se fabrican con materiales que



Gráfica 1. Relación entre el porcentaje de corriente nominal y el tiempo de ruptura.

tienen coeficientes positivos de temperatura, por lo que es común hablar de resistencia fría y de resistencia caliente (o caída de voltaje), siendo el funcionamiento real entre una de estas condiciones. La resistencia fría es la que se obtiene al medir corriente de no más del 10% de la especificación nominal de corriente del fusible. La resistencia caliente es la resistencia calculada a partir de la caída estabilizada de voltaje que ocurre a través del fusible cuando la corriente es igual a la especificación nominal de corriente que fluye a través del fusible. Por ley de Ohm:

$$\text{Resistencia} = \frac{\text{Voltaje}}{\text{Corriente}}$$

ESPECIFICACION DE CORTOCIRCUITO:

También se conoce como capacidad de abertura o de interrupción, es la corriente máxima que el fusible puede interrumpir en forma segura a un voltaje especificado. El funcionamiento seguro requiere que el fusible se mantenga intacto (sin explosión) y que no emita una flama o soldadura fundida que podría representar un riesgo de incendio.

RECOMENDACIONES PARA SOLDAR: Puesto que la mayoría de los fusibles tienen incorporadas conexiones soldadas, deberá ejercerse precaución cuando se instalen este tipo de fusibles mediante soldadura. El exceso de calor puede producir un reflujo de la soldadura dentro del fusible y cambiar sus especificaciones. Los fusibles son componentes sensibles al calor similares a los semiconductores, y se

recomienda disipar el calor durante el proceso de soldadura.

CURVA DE TIEMPO-CORRIENTE: Es la representación gráfica de la característica de fusión. Las curvas de tiempo-corriente por lo general son curvas promedio y se emplean como una ayuda para el diseño, pero no se consideran como parte de la especificación del fusible.

ESPECIFICACION DE VOLTAJE: La especificación de voltaje, tal como está marcada en el fusible, indica que se puede confiar en que el fusible interrumpirá en forma segura su corriente nominal de corto circuito, en un circuito en el cual el voltaje es igual o menor que su voltaje nominal. Este sistema de especificación de voltaje está cubierto por las regulaciones de la N.E.C (Código Eléctrico Nacional de los EE.UU) y es un requisito establecido por los Underwriters Laboratories como una protección contra incendios. Las especificaciones de voltajes estándar empleadas por los fabricantes de fusibles para la mayoría de los fusibles de dimensiones pequeñas y los fusibles "enanos" son 32, 125, 250 y 600 voltios.

Las capacidades de interrupción de cortocircuito pueden variar de acuerdo al fusible y se encuentran entre 35 amperios de CA para algunos fusibles de 250 V, magnitudes físicas (5 x 20 mm) hasta 200,000 amperios de CA para los de 600 V, serie KLK-R. La información sobre otras series de fusibles se puede obtener del fabricante.

En el equipo electrónico con fuentes de poder de salida relativamente baja y con impedancia de circuito que limita las corrientes de cortocircuito a valores menores de 10 veces la corriente nominal del fusible, es práctica común el especificar fusibles con voltajes nominales de 125 ó 250 voltios para la protección de circuitos secundarios de 500 o más voltios.

Como se mencionó anteriormente, los fusibles son sensibles a cambios en la corriente y no de voltaje, manteniendo su *status quo* a cualquier voltaje de cero hasta su valor nominal máximo, puesto que no es sino hasta que el alambre del fusible alcanza temperatura de fusión ocasionando arcos, cuando el voltaje del circuito y la potencia disponible influyen sobre el funcionamiento del fusible y determinan la interrupción del circuito. En resumen, un fusible puede ser usado a cualquier voltaje menor de su voltaje nominal sin detrimento de sus características de fusible, pero también puede ser usado a voltajes mayores de su valor nominal certificado si el máximo de

potencia disponible en el fusible, en condiciones de "corto muerto" sólo produce un arco no-destructivo de bajo nivel de energía.

Según la norma UL Standard 198G (EE.UU) los fusibles deben tener una capacidad de interrupción de 10,000 amperios con algunas excepciones, lo cual en una cantidad grande de aplicaciones proporciona un factor de seguridad que excede por mucho las corrientes de cortocircuito.

VOLTAJE: La especificación de voltaje debe ser igual o mayor que el voltaje del circuito. Además, la capacidad de interrupción debe ser por lo menos igual a la corriente máxima disponible de cortocircuito.

CORRIENTE, FUNCIONAMIENTO NORMAL: La especificación de corriente de un fusible normalmente se degrada en 25% para un funcionamiento a 25°C con el objeto de evitar problemas en la fusión. Por ejemplo, un fusible con una especificación de corriente de 10 A no se recomienda para ser usado a más de 7.5 A en un ambiente a 25°C. Para mayores detalles consulte la sección previa sobre DISMINUCION DE ESPECIFICACION y la de TEMPERATURA AMBIENTE más adelante.

Los pulsos iniciales o de arranque son normales en algunas aplicaciones y requieren las características de los fusibles "slo-blo" (lentos). Los fusibles lentos tienen integrado un retraso térmico para que puedan resistir los pulsos normales de arranque y aún proporcionar protección contra sobrecargas prolongadas. Deberá definirse el pulso de arranque

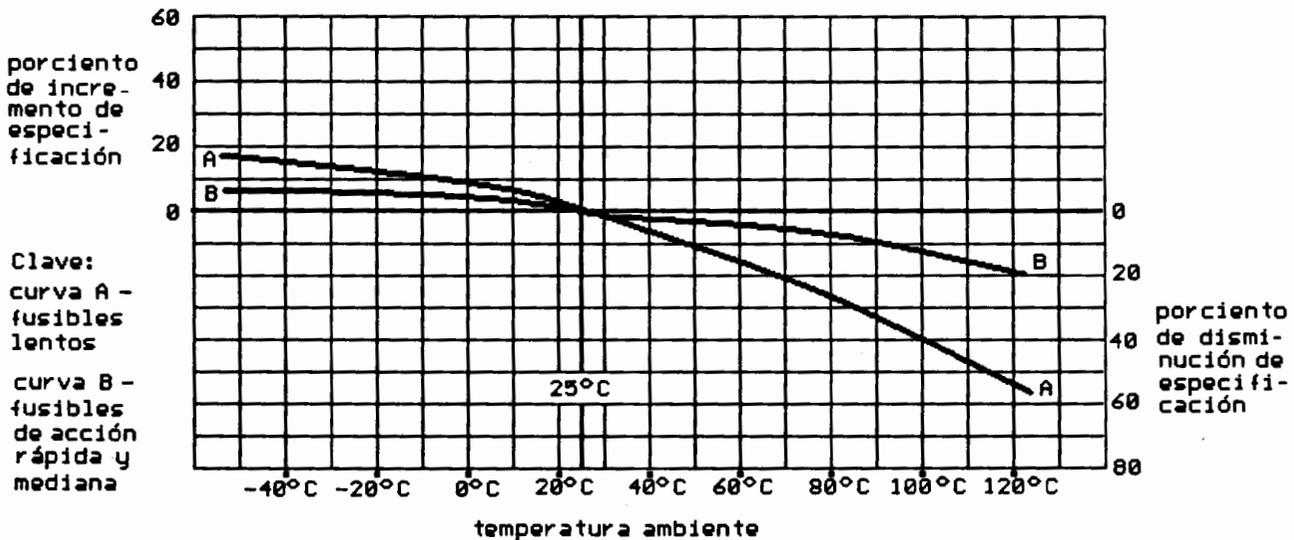
y luego compararse con la curva de tiempo-corriente del fusible.

CORRIENTE, CONDICION DE AVERIA: La corriente de avería es el nivel de corriente para el cual se requiere protección. Las condiciones de avería pueden especificarse en términos unicamente de corriente o de corriente y el tiempo máximo que pueda tolerarse la avería sin causar daños. Deberán consultarse las curvas de tiempo-corriente para tratar de adaptar la característica del fusible a las necesidades del circuito, teniendo en cuenta que las curvas están basadas en datos promedios.

TEMPERATURA AMBIENTE: Las pruebas referentes a la capacidad de carga de corriente se realizan a 25°C y son afectadas por cambios en la temperatura ambiente. Mientras más elevada sea la temperatura ambiente, a mayor temperatura funcionará el fusible, y por consiguiente su tiempo de vida será menor. Al igual, el funcionamiento a temperaturas más bajas prolonga la vida del fusible. Este cambio o cantidad de disminución de especificación es adicional a la disminución de especificación normal de 25% (véase la sección sobre DISMINUCION DE ESPECIFICACION).

La gráfica 2 muestra la cantidad de cambio. La gráfica muestra las curvas generales para los fusibles "rápidos", los de acción mediana y los lentos. Algunos de los fusibles lentos más recientes no se afectan en forma importante por la temperatura ambiente.

PULSOS: Las condiciones de los pulsos eléctricos pueden variar grandemente de una aplicación a otra. Las diferentes configuraciones de los fusibles pue-



Gráfica 2. Gráfica que muestra el efecto de la temperatura ambiente sobre la intensidad de corriente máxima permisible.

den no reaccionar en la misma forma a una condición dada de pulso. Los pulsos eléctricos producen ciclado térmico y posible fatiga mecánica que podría afectar la vida del fusible. Se recomienda hacer pruebas de aplicación para establecer la habilidad del fusible para resistir las condiciones de pulsos a que se someterá.

PRUEBAS: Los factores mencionados anteriormente deben ser tomados en cuenta al seleccionar un fusible para una aplicación específica. El siguien-

te paso para verificar la selección es solicitar muestras para probarlas en el circuito donde efectivamente se va a usar. Antes de evaluar las muestras, asegúrese de que el fusible está adecuadamente montado con buenas conexiones eléctricas empleando los alambres del tamaño adecuado. Las pruebas deben incluir pruebas vivas bajo condiciones normales y pruebas de sobrecarga bajo condiciones de avería para garantizar que el fusible va a funcionar adecuadamente en el circuito.

APENDICE C

CAPITULO IV

COMO EVITAR FALLAS PROVOCADAS POR LOS COMPONENTES PASIVOS ¹

Un componente pasivo erróneo puede hacer fallar aun al mejor amplificador operacional o convertidor de datos. A continuación damos algunas de las estrategias que deben tomarse en cuenta.

Acaba usted de comprar un amplificador operacional o un convertidor de datos de precisión, a un costo superior a 25 dólares, sólo para encontrar que al conectarlo en su tarjeta el dispositivo no cumple con las especificaciones. Quizá el circuito sufre de desviaciones, baja respuesta de frecuencia, oscilaciones, o simplemente no alcanza la exactitud que usted espera. Bien, antes de que culpe al dispositivo deberá examinar los componentes pasivos -incluyendo los capacitores, resistores, potenciómetros, e inclusive las mismas tarjetas de circuito impreso. Efectos engañosos de tolerancia, temperatura, parasíticos, envejecimiento y procedimiento de ensamblado pueden desmerecer su circuito. Estos factores frecuentemente no se especifican o son subespecificados por los fabricantes.

En general, si usted usa convertidores de datos que tienen 12 bits o más de resolución, o emplea amplificadores operacionales de más de US\$5.00, deberá prestar especial atención a la selección de los componentes pasivos. Para poner el problema en su perspectiva adecuada, consideremos el caso de un convertidor digital-analógico (CAD) de 12 bits. Medio LSB (dígito menos significativo) corresponde a 0.012% de la escala total, o solamente 122 partes por millón (ppm). El conjunto de factores adversos de los componentes pasivos puede rápidamente acumular errores que exceden ampliamente este nivel.

El comprar el componente pasivo más caro no necesariamente resolverá el problema. A menudo, el capacitor correcto de 25 centavos (US\$) proporcio-

nará un mejor funcionamiento y un diseño de costo-eficiencia más adecuado que el componente de mejor grado con costo de US\$8.00. Aunque no necesariamente es fácil, entender y analizar los efectos de los componentes pasivos puede resultar muy satisfactorio una vez que entiende algunos aspectos básicos.

CAPACITORES

La mayoría de los diseñadores están familiarizados con la amplia gama de capacitores disponibles. Pero los mecanismos por medio de los cuales pueden ocurrir errores estáticos y dinámicos en los diseños de circuitos de precisión son fáciles de olvidar debido a la enorme variedad de tipos de capacitores; por ejemplo, de vidrio, hoja de aluminio, tantalio sólido, hoja de tantalio, mica de plata, cerámica, Teflón, y película, incluyendo poliéster, policarbonato, poliestireno, y polipropileno.

La figura 1 muestra un modelo funcional de un capacitor no-ideal. La capacitancia nominal, C , está puentada por la resistencia R , que representa la resistencia de aislamiento o de fuga. Una segunda resistencia, R_s , resistencia en serie equivalente, o RES, aparece en serie con el capacitor y representa la resistencia de las terminales y placas del capacitor.² La inductancia L -la inductancia equivalente en serie o LES- modela la inductancia de las terminales y de las placas. Finalmente, la resistencia R_{da} y la capacitancia C_{da} juntas forman un modelo simplificado de un fenómeno conocido como absorción dieléctrica. La absorción dieléctrica puede arruinar el funcionamiento dinámico tanto de los circuitos lentos como de los rápidos.

- 1 Traducción de "Avoiding Passive-component Pitfalls", Doug Grant and Scott Wurcer, *Analog Dialogue* 17-2, 1983, reproducido con permiso de Analog Devices, Inc.
- 2 Los factores adversos de los capacitores no son tan fáciles de separar. El aparejar los factores adversos y los modelos es con el fin de facilitar la explicación.

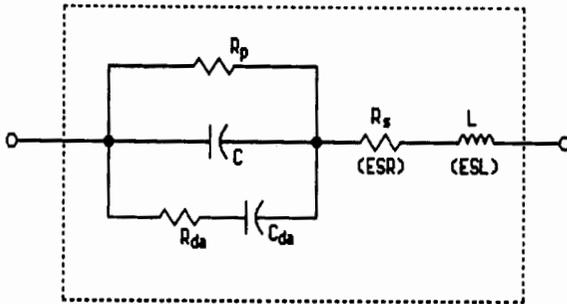


Figura IV(C)-1. Circuito Equivalente de un capacitor.

Absorción dieléctrica

Comenzaremos con la absorción dieléctrica, conocida también como "soakage" (término técnico que significa "succión") y en ocasiones como "histéresis dieléctrica", que es quizá el efecto de capacitor menos conocido y el que más daño capacitivo puede causar. Una vez que se descargan, la mayoría de los capacitores difícilmente desprenden toda su energía interior. La figura 2 muestra este efecto. Una vez que ha sido cargado a V voltios en el tiempo t_0 , el capacitor es cortocircuitado con el interruptor en el momento t_1 . Al momento t_2 , el capacitor se encuentra en circuito abierto; un voltaje residual se acumula lentamente a través de sus terminales y alcanza un valor casi constante. Este voltaje es debido a la "absorción dieléctrica".

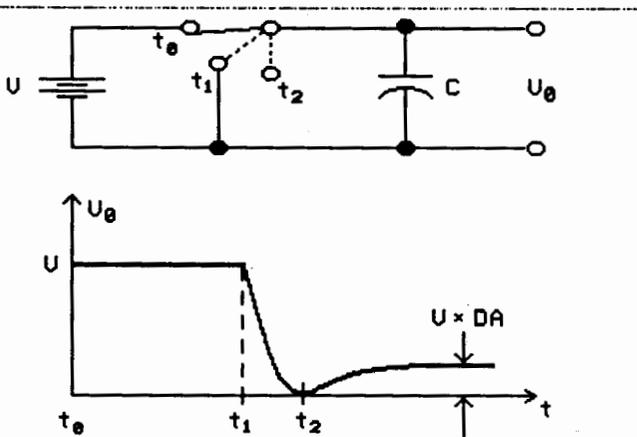


Figura IV(C)-2. Voltaje residual que caracteriza la absorción dieléctrica de un capacitor.

Las técnicas estándares para especificar o medir la absorción dieléctrica son pocas y muy diferentes.

Los resultados medidos, por lo general, se expresan como el porcentaje del voltaje de carga original que reaparece a través del capacitor. Característicamente, el capacitor se carga por más de 1 minuto, y luego se hace entrar en corto durante un tiempo que va de 1 a 10 segundos. Luego se deja que el capacitor se recupere durante aproximadamente 1 minuto, y enseguida se mide el voltaje residual (ver referencia 10).

En la práctica la absorción dieléctrica se manifiesta por sí misma en diversas formas. Quizá un integrador se niega a reajustarse a cero, un convertidor de voltaje a frecuencia exhibe no-linealidad, o un circuito de muestreo (sample-and-hold) exhibe errores variables. Esta última manifestación puede ser parti-

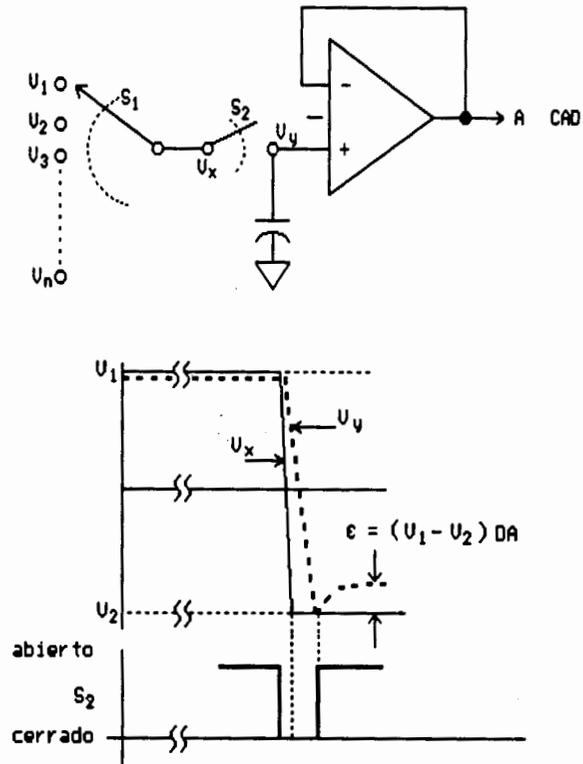


Figura IV(C)- 3. La absorción dieléctrica induce errores en aplicaciones de muestra-retención (sample-hold)

cularmente dañina en un sistema de adquisición de datos, donde los canales adyacentes pueden encontrarse a voltajes que difieren casi en la totalidad de la escala. La figura 3 ilustra el caso en un simple circuito de muestra-retención (sample-hold).

La absorción dieléctrica es una característica del material dieléctrico mismo, aunque puede afectarse por procedimientos inferiores de fabricación o por el material usado en los electrodos. Considerada co-

mo un porcentaje del voltaje de carga, las especificaciones de absorción dieléctrica varían desde valores tan bajos como 0.02% para los capacitores de Teflón, poliestireno y polipropileno hasta valores tan altos como 10% o más para algunos electrolíticos de aluminio. Para algunos rangos de tiempo la absorción dieléctrica del poliestireno puede ser tan baja como 0.002%.

Los tipos comunes de cerámica y policarbonato muestran absorciones dieléctricas típicas de 0.2%, esto corresponde a la mitad de un LSB (bit menos significativo) a sólo 8 bits. Los capacitores de mica de plata, vidrio y de tantalio muestran típicamente cifras aun más elevadas de absorción dieléctrica, variando entre 1% a 5%, y los capacitores de poliéster caen a valores de 0.5%. Como regla, si su hoja de especificaciones no proporciona datos sobre la absorción dieléctrica en un rango de tiempo y de voltaje, tómelo muy en cuenta y de preferencia cámbielos.

La absorción dieléctrica puede producir retardos en la respuesta transitoria de los circuitos de ajuste rápido, tal como los que se encuentran en los filtros activos de paso alto o en los amplificadores de CA. Algunos dispositivos empleados para tales aplicaciones, ver figura 1, $R_{da}C_{da}$ modelo de absorción dieléctrica, pueden tener una constante de tiempo de milisegundos.¹ En aplicaciones de carga y descarga rápida, la absorción dieléctrica se asemeja a la "memoria analógica"; el capacitor trata de recordar su voltaje previo.

En algunos diseños, se pueden compensar los efectos de la absorción dieléctrica si es simple y fácilmente caracterizada y está dispuesto a hacer ajustes. Por ejemplo, en un integrador la señal de salida puede realimentarse a través de una red de compensación adecuada, diseñada para cancelar el circuito equivalente de la absorción dieléctrica, colocando eficientemente una impedancia negativa en paralelo. Una compensación tal ha mostrado mejorar el funcionamiento de un circuito de muestra-retención (sample-and-hold) por factores de 10 o más (Referencia 7).

Parasíticos y Factor de Disipación

En la figura 1, la resistencia de fuga de un capacitor, R_p , la resistencia equivalente en serie, R_s , y la inductancia equivalente en serie, L , actúan como elementos parasíticos que pueden degradar el funcionamiento externo de un circuito. Los efectos de estos elementos en ocasiones se conjugan y se designan como factor de disipación, o FD.

La fuga de un capacitor es la pequeña corriente que fluye a través del dieléctrico cuando se aplica un voltaje. Aunque se modeló como una simple resistencia de aislamiento (R_p) en paralelo con el capacitor, la fuga es en realidad no lineal con el voltaje. Los fabricantes, muy a menudo, especifican la fuga como un producto de megaohmio-microfaradio, lo cual describe la constante de tiempo de la auto-descarga del dieléctrico, en segundos. Varía desde 1 segundo o menos para capacitores de elevada fuga, tal como los de aluminio y tantalio, hasta los cientos de segundos para los capacitores de cerámica. Los dispositivos de vidrio exhiben constantes de tiempo de auto-descarga de 1000 segundos o más, pero el mejor funcionamiento de fuga lo muestran los dispositivos de Teflón o de película (poliestireno y polipropileno) con constantes de tiempo que exceden 1'000,000 megaohmio-microfaradios. Para un dispositivo de este tipo, las vías de fuga -creadas por contaminantes en la superficie del encapsulado o en el cableado asociado, o el ensamblado físico, pueden enmascarar la fuga del dieléctrico.

La inductancia equivalente en serie, L_{ES} , (Fig. 1) se origina de la inductancia en las terminales y placas del capacitor, la cual, particularmente en las frecuencias más altas, puede convertir la reactancia capacitiva normal del capacitor en una reactancia inductiva. Su magnitud depende de los detalles de la construcción interna del capacitor. Los dispositivos tubulares envueltos en hojas muestran una inductancia significativamente mayor en las terminales que las configuraciones moldeadas con disposición radial de las terminales. Los dispositivos de múltiples capas de cerámica y los del tipo de película, por lo general, exhiben las menores impedancias en serie, mientras que los electrolíticos de aluminio o de

1 Son muy usuales constantes de tiempo grandes. De hecho, algunos dispositivos pueden modelarse mediante varios circuitos $R_{da}-C_{da}$ paralelos, con una amplia gama de constantes de tiempo.

tantalio típicamente exhiben los mayores valores. En consecuencia, los dispositivos electrolíticos, por lo general, son insuficientes para aplicaciones de paso local de elevada velocidad.

Los fabricantes de capacitores, a menudo, especifican la inductancia equivalente en serie mediante curvas de impedancia versus frecuencia. Estas muestran gráficamente, y no es de sorprenderse, que los dispositivos presentan predominantemente reactancia capacitiva a bajas frecuencias, con impedancias aumentadas a frecuencias más elevadas debido a su inductancia en serie.

La resistencia equivalente en serie, RES, (Resistor R de la Fig. 1) está conformada por la resistencia de las terminales y de las placas. Como se hizo notar, muchos fabricantes conjugan los efectos de RES, LES y fuga en un solo parámetro denominado **factor de disipación** o FD. El factor de disipación mide la ineficiencia básica del capacitor. Los fabricantes lo definen como la proporción entre la energía perdida y la energía almacenada por ciclo en el capacitor. La proporción de resistencia equivalente en serie a la reactancia capacitiva total -a una frecuencia específica- se aproxima al factor de disipación, el cual resulta ser equivalente a la recíproca del factor de calidad, Q.

El factor de disipación varía a menudo en función tanto de la temperatura como de la frecuencia. Los capacitores con dieléctricos de mica y vidrio por lo general tienen valores de FD que van de 0.03% a 1.0%. Para los dispositivos de cerámica, el FD varía desde un valor tan bajo como 0.1% hasta un valor tan alto como 2.5% a temperatura ambiente. Los electrolíticos inclusive exceden este nivel. Por lo general, los capacitores de película son los mejores, con FDs menores de 0.1%.

Tolerancia, Temperatura y otros efectos

Por lo general, los capacitores de precisión son caros y aun así no son fácilmente accesibles. De hecho, la selección de la capacitancia está limitada por el rango de los valores y tolerancias disponibles. Valores de tolerancia de 1% para algunos dispositivos de cerámica o la mayoría de los de película son comunes, pero probablemente tengan tiempos de entrega imposibles de aceptar. La mayoría de los capacitores de película pueden hacerse accesibles con tolerancias menores de 1%, pero solamente bajo pedido especial.

La mayoría de los capacitores son sensibles a variaciones de temperatura. El factor de disipación, la absorción dieléctrica y la capacitancia misma son funciones de la temperatura. Para algunos capacitores, estos parámetros varían aproximadamente en forma lineal con la temperatura, en otros varían bastante en forma no-lineal. Aunque, por lo general, no es importante para aplicaciones de muestra-retención (sample-and-hold), un coeficiente de temperatura excesivamente elevado (ppm/°C) puede resultar dañino en el funcionamiento de integradores de precisión, convertidores de voltaje a frecuencia y en los osciladores. Los capacitores tipo NPO de cerámica con desviación de temperatura tan baja como 30 ppm/°C son por lo general los mejores. Por el otro lado, en los electrolíticos de aluminio, los coeficientes de temperatura pueden exceder los 40000 ppm/°C. También debe tomarse en cuenta la temperatura máxima de trabajo de un capacitor. Por ejemplo, los capacitores de poliestireno se funden cerca de los 85° C, en comparación a la habilidad de los de Teflón de soportar temperaturas hasta de 200° C.

La sensibilidad de la capacitancia y de la absorción dieléctrica al voltaje aplicado también puede afectar el funcionamiento del capacitor en aplicaciones de circuito. Aunque los fabricantes de capacitores no siempre especifican claramente los coeficientes de voltaje, el usuario deberá considerar siempre el efecto posible de tales factores. Por ejemplo, cuando se aplican voltajes máximos, algunos dispositivos de cerámica de elevada densidad pueden sufrir una disminución en la capacitancia de 50% o más.

En forma similar, la capacitancia y el factor de disipación de muchos tipos de capacitores varían significativamente con la frecuencia, principalmente como resultado de variaciones en la constante dieléctrica. En este sentido, los mejores dieléctricos son el poliestireno, el polipropileno y el Teflón.

Ensamble los componentes críticos al final

Las preocupaciones del diseñador no terminan con el proceso de diseño. Técnicas comunes de ensamble de tarjetas de circuito impreso pueden arruinar aun el mejor diseño. Por ejemplo, algunos disolventes comúnmente empleados para limpiar las tarjetas de circuito impreso pueden infiltrarse en algunos capacitores electrolíticos -aquéllos con casquetes terminados en hule (caucho) son particularmente susceptibles. Peor aún, algunos de

los capacitores de película, en particular los de poliestireno, de hecho se funden al ponerse en contacto con algunos disolventes. El manejo rudo de las terminales puede dañar aun otros capacitores, creando problemas al azar o, inclusive, intermitencias en el circuito. Los del tipo de hoja desnuda son particularmente delicados en este sentido. Para evitar estas dificultades, sería aconsejable montar los componentes especialmente críticos como el último paso en el proceso de ensamble de la tarjeta, siempre que esto sea posible.

Los diseñadores deben tomar en cuenta también los mecanismos naturales de falla de los capacitores. Los dispositivos de película metalizada, por ejemplo, se auto-regeneran. Inicialmente fallan debido a puentes conductores que se desarrollan a través de pequeñas perforaciones en las películas del dieléctrico. Pero las corrientes de falla resultantes pueden generar suficiente calor para destruir el puente, regresando así al capacitor a su funcionamiento normal (a una capacitancia ligeramente menor). Desde luego, aplicaciones en circuitos de elevada impedancia pueden no desarrollar suficiente corriente para evitar el puente.

Los capacitores de tantalio también exhiben un cierto grado de auto-regeneración pero -a diferencia de los capacitores de película- el fenómeno depende de la lenta elevación de temperatura en el lugar de la falla. Por ello, los capacitores de tantalio se auto-regeneran mejor en circuitos de elevada impedancia que limitan los sobrepicos o transitorios de corriente a través del defecto del capacitor. Por lo tanto, sea cauteloso cuando especifique capacitores de tantalio para aplicaciones de elevada corriente.

La vida de un capacitor electrolítico depende a menudo de la velocidad a la cual los líquidos del capacitor se filtran a través de los casquetes terminales. Los selladores de epoxy son mejores que los de hule (caucho), pero un capacitor sellado con epoxy puede explotar bajo condiciones severas de voltaje inverso o de sobrevoltaje.

RESISTORES Y POTENCIOMETROS

Los diseñadores tienen una amplia gama de tecnologías de resistencias de donde escoger, que incluyen las de composición de carbón, de película de carbón, de estructura de metal, de película de metal, y de enrollados de alambre tanto inductivos como no-inductivos. Siendo el resistor probablemente el

componente más básico y el que menos fallas presenta, por lo general, no se toma en cuenta como una fuente potencial de errores en los circuitos de elevada funcionalidad. Sin embargo, un resistor inadecuadamente seleccionado puede arruinar la exactitud de un diseño de 12 bits, al desarrollar errores muy por arriba de 122 ppm (1/2 LSB). ¿Cuándo fue la última vez que usted realmente se tomó el tiempo para leer una hoja de datos para resistores? Se sorprenderá de lo que puede aprenderse de una revisión bien informada de los datos.

Considere el circuito de la Figura 4, el cual amplifica una señal de entrada de 0-a-100 mV hasta 100 veces para su conversión en un convertidor analógico-digital con un rango de entrada de 0-a-10 voltios. Los resistores que fijan la ganancia pueden compararse con tolerancias iniciales tan bajas como 0.001% (10 ppm) en forma de dispositivos de película metalizada de precisión. Alternadamente, la tolerancia inicial de los resistores puede corregirse mediante la calibración o selección. En consecuencia, la exactitud de ganancia inicial del circuito pue-

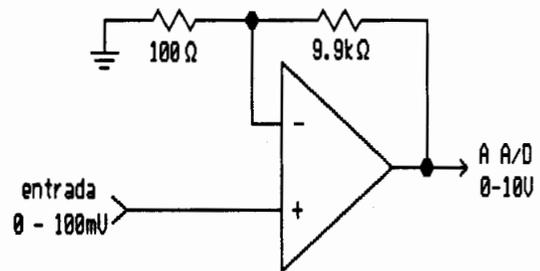


Figura IV(C)- 4. Los cambios de temperatura pueden reducir la exactitud de muestra-retención (sample and hold).

de ajustarse a cualquier tolerancia requerida, limitada quizá por la exactitud del instrumento de calibración.

Sin embargo, los cambios de temperatura pueden limitar la exactitud del amplificador de la Fig. 4 en diversas formas. Los coeficientes de temperatura absoluta de los resistores no son importantes, siempre y cuando sigan, en la misma dirección, las variaciones de temperatura. Aun así, los resistores de composición de carbón, con coeficientes de temperatura de aproximadamente 1500 ppm/°C no serían adecuados para esta aplicación. Aun si los coeficientes

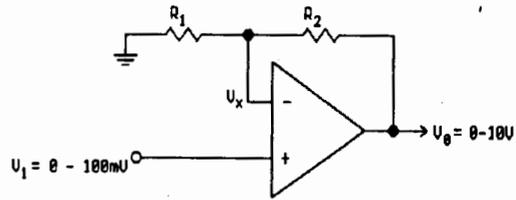
de temperatura pudieran acoplarse a un improbable 1%, la diferencial resultante de 15 ppm/°C sería inadecuada -una desviación tan pequeña- como de 8°C crearía un error de 1/2 LSB de 120 ppm.

Los fabricantes ofrecen resistores de película de metal o de estructura metálica con coeficientes de temperatura absoluta que varían entre 1 y 100 ppm/°C. Sin embargo, tenga cuidado, los coeficientes de temperatura pueden variar mucho, en particular entre los resistores de diferentes lotes. Para evitar este problema, algunos fabricantes ofrecen pares acoplados de resistores muy caros, con coeficientes de temperatura que se siguen unos a otros dentro de un rango de 2 a 10 ppm/°C. Redes de película delgada de bajo costo son buenas y se usan ampliamente.

Desafortunadamente, aun los pares de resistores acoplados no pueden resolver totalmente el problema de los errores de los resistores inducidos por temperatura. La figura 5a ilustra inducción de errores por auto-calentamiento. Los resistores tienen coeficientes de temperatura idénticos, pero disipan cantidades considerablemente diferentes de potencia en este circuito. Suponiendo una resistencia térmica (hoja de datos) de 125° C/W para resistores de 1/4 de vatio, la temperatura del resistor R1 aumenta en 0.0125°C, mientras que la temperatura del resistor R2 aumenta en 1.24°C. Con un coeficiente de temperatura de 50 ppm/°C, el resultado es un error de 62 ppm (0.006%). Aún peor, los efectos de auto-calentamiento crean errores no-lineales. En el ejemplo de la figura 5a, con la mitad del voltaje de entrada, el error resultante es tan sólo de 15 ppm. La figura 5b grafica la función de transferencia no lineal resultante para el circuito de la figura 5a. Este no es, de ningún modo, un ejemplo del peor de los casos, resistores más pequeños darían resultados aún peores debido a su mayor resistencia térmica.

El uso de resistores con vatiaje (watage) más elevado para aquellos dispositivos que disipan la mayor potencia puede minimizar los efectos del auto-calentamiento en los resistores. Alternativamente, las redes de resistores de película delgada o gruesa minimizan los efectos del auto-calentamiento al dispersar el calor más uniformemente sobre todos los resistores en un paquete dado.

Aunque a menudo no se toma en cuenta como una fuente de error, el coeficiente de temperatura de resistencia de un alambre típico o de las interconexiones de una tarjeta de circuito impreso puede agregarse a los errores de un circuito. Los metales



$$R_1 = 100\Omega \pm 0.001\% + 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$$

$$R_2 = 9.9\text{k}\Omega \pm 0.001\% + 50\text{ppm}/^\circ\text{C}$$

$$\phi_{FA} = 125^\circ\text{C}/\text{W}$$

para $U_1 = 0\text{V}$ $U_o = 0\text{V}$ $U_x = 0\text{V}$: P_D en $R_1 = P_D$ en $R_2 = 0$

para $U_1 = 100\text{mV}$ $U_o = 10\text{V}$ $U_x = 100\text{mV}$: P_D en $R_1 = (0.10)^2 / 100\Omega = 0.1\text{mW}$

P_D en $R_2 = (9.9)^2 / 9.9\text{k}\Omega = 9.9\text{mW}$

R_1 elevará su temperatura en 0.0125°C

R_2 elevará su temperatura en 1.24°C

$(1.24^\circ\text{C})(50\text{ppm}/^\circ\text{C}) = 62\text{ppm} = 0.006\% \text{ error}$

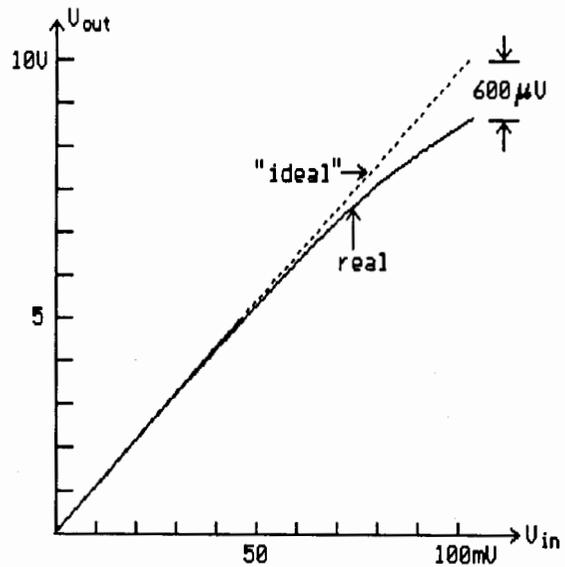


Figura IV(C)-5. El auto-calentamiento del resistor conduce a una respuesta no-lineal del amplificador. a) Anatomía de la colinealidad inducida por temperatura, b) Función de transferencia no-lineal (escala exagerada)

usados en las tarjetas de circuito impreso y para los alambres de interconexión (por ej. cobre) tienen un coeficiente de temperatura tan alto como 3900 ppm/°C. Un resistor de alambre enrollado de precisión de 10 ohmios, 10 ppm/°C, con una resistencia de interconexión de 0.1 ohmio, se convierte efectivamente en un resistor de 45 ppm/°C. Los coeficientes de temperatura de las interconexiones juegan un papel particularmente significativo en los circuitos híbridos de precisión, donde las interconexiones de película delgada tienen una resistencia no-despreciable.

Una consideración final se aplica principalmente a diseños que varían ampliamente con temperaturas ambientales: un fenómeno conocido como temperatura de retroceso, y que describe el cambio en la resistencia que ocurre después de un número especificado de ciclos de exposición a ambientes de temperaturas altas y bajas con disipación interna constante. La temperatura de retroceso puede exceder 10 ppm, inclusive para algunos de los mejores componentes de película metalizada.

En resumen, para diseñar circuitos de resistencia con un mínimo de errores relacionados con la temperatura, considere (junto con el costo) los siguientes aspectos:

- Acople lo mejor posible los coeficientes resistencia-temperatura.
- Utilice resistores con coeficientes bajos de temperatura absoluta.
- Utilice resistores con resistencia térmica baja (especificaciones más elevadas de potencia, casquillos más grandes).
- Acople térmicamente en forma estrecha (use redes estándares de resistencia o resistores múltiples en un solo paquete).
- Para proporciones altas, use atenuadores de pasos.

Parasíticos en los resistores

Los resistores pueden exhibir niveles significativos de inductancia o capacitancia parasítica, especialmente a frecuencias elevadas. Los fabricantes a menudo especifican estos efectos parasíticos como un error de reactancia, en % o en ppm, basados en la razón de diferencia entre la magnitud de la impedancia y la resistencia a CD, con respecto a la resistencia a una o más frecuencias.

Los resistores de alambre enrollado son especialmente susceptibles a presentar dificultades. Aunque los fabricantes de resistores ofrecen componentes de alambre enrollado ya sean normales o no-inductivos, aun los resistores enrollados no-inductivamente originan dolores de cabeza a los diseñadores. Estos resistores siguen siendo ligeramente inductivos (en el orden de 20 H) para valores menores de 10,000 ohmios. Los resistores enrollados no-inductivamente que exceden los 10,000 ohmios en realidad exhiben una capacitancia en paralelo de 5 pF.

Estos efectos parasíticos pueden crear estragos en aplicaciones de circuitos dinámicos. De particular importancia son las aplicaciones que emplean resis-

tores enrollados con valores, tanto mayores o menores, de 10,000 ohmios. Aquí es común ver efectos de pico o inclusive oscilaciones. Estos efectos se hacen evidentes a frecuencias en el rango bajo de kHz.

Aun en aplicaciones de circuitos de baja frecuencia, los efectos parasíticos de los resistores de alambre enrollado pueden crear dificultades. El ajuste exponencial a 1 ppm requiere de 20 constantes de tiempo o más. Los parasíticos asociados con los resistores de alambre enrollado pueden aumentar significativamente el tiempo de ajuste más allá de aquellas constantes de tiempo.

A menudo se encuentran cantidades inaceptables de reactancia parasítica aun en resistores no enrollados de alambre. Por ejemplo, alguno de los del tipo de película metálica tienen una capacitancia significativa entre las terminales, la cual se hace notar a altas frecuencias. Los resistores de carbón son los que mejor funcionan a altas frecuencias.

Efectos termoeléctricos

La unión entre cualesquiera de dos metales diferentes crea una fuerza electromotriz (FEM) térmica. En muchos casos puede ocasionar el error dominante en el diseño de un circuito de precisión. En los resistores de alambre enrollado, la resistencia del alambre genera una fuerza electromotriz térmica de 42 microvoltios/°C al unirse a las terminales (un material típico para terminal es el Alloy 180, que consiste de 77% de cobre y 23% de níquel). Si las dos terminaciones del resistor registran la misma temperatura, las FEM se cancelan y no ocurre ningún error neto. Sin embargo, si el resistor se monta verticalmente (figura 6), la unión de la terminal superior está a una temperatura mayor que la inferior, puesto que el calor disipado por el resistor tiende a elevarse.

Para una diferencia de temperatura tan pequeña como 1°C, se origina un error de voltaje de 42 microvoltios, un nivel que es realmente muy superior a las corrientes de fuga de 25 microvoltios de un amplificador operacional de precisión típico. Un resistor montado horizontalmente (Fig. 6) puede resolver la dificultad. En forma alternativa, algunos fabricantes de resistores ofrecen, bajo pedido especial, terminales de cobre estañadas, lo cual reduce la FEM térmica a 2.5 microvoltios/°C.

En general, los diseñadores deberían tratar de evitar los gradientes térmicos en o cerca de circuitos críticos en las tarjetas. A menudo, esto significa ais-

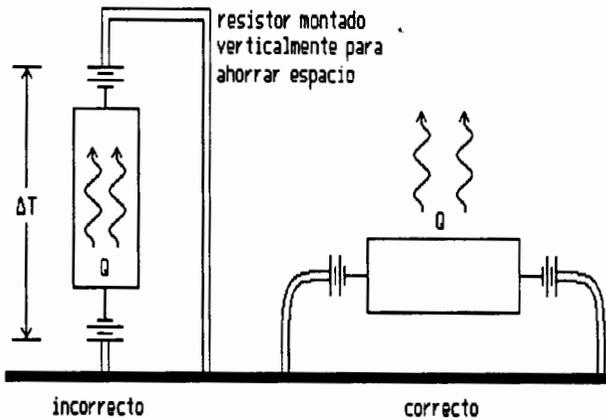


Figura IV(C)-6. Los gradientes térmicos crean errores termoelectrónicos significativos en el circuito.

lar térmicamente los componentes que disipan cantidades significativas de potencia. La turbulencia térmica creada por gradientes elevados de temperatura pueden también crear errores dinámicos, semejantes al ruido de baja frecuencia.

Voltaje, fallas y envejecimiento

Los resistores también se afectan por cambios en función del voltaje aplicado. Los componentes de óxido depositado, de elevada resistencia (en el rango de megaohmios) son especialmente sensibles, con coeficientes de voltaje que van desde 1 ppm/voltio hasta más de 200 ppm/voltio. Esta es otra razón para ejercer precaución en las aplicaciones de precisión, tal como en los divisores de alto voltaje. Los mecanismos de falla de los resistores pueden crear también dificultades en el circuito si no son considerados cuidadosamente. Los resistores de compuestos de carbón fallan en forma segura al convertirse en circuitos abiertos. En consecuencia, en algunas aplicaciones, estos componentes juegan un papel secundario útil al funcionar como fusibles. Reemplazar un resistor de este tipo por uno de película de carbón puede crear problemas, puesto que los dispositivos de película de carbón pueden fallar como cortocircuitos. (Los componentes de película de metal por lo general fallan como circuitos abiertos.)

Todos los resistores tienden a cambiar ligeramente su valor con el envejecimiento. Los fabricantes especifican la estabilidad a plazo largo en términos de cambio -ppm/año. Valores de 50 a 75 ppm/año son comunes entre los resistores de película de metal. Para aplicaciones críticas, los dispositivos de pe-

lícula de metal deben estar bajo esfuerzo por lo menos durante una semana a potencia especificada. Durante el esfuerzo, los valores de R pueden variar hasta en 100 ó 200 ppm. Los resistores de película metálica pueden requerir 4000 ó 5000 horas de operación para su estabilización total, sobre todo si se les priva de un período de esfuerzo.

Ruido excesivo en el resistor

La mayoría de los diseñadores están familiarizados con el ruido térmico o de Johnson que se presenta en los resistores. Pero un segundo fenómeno de ruido, poco reconocido, que se denomina ruido excesivo puede resultar particularmente problemático en los amplificadores operacionales de precisión y en los circuitos convertidores. El ruido excesivo se hace evidente sólo cuando la corriente pasa por el resistor.

Como breve revisión, el ruido térmico resulta de la vibración al azar inducida térmicamente en los portadores de carga en un resistor. Aunque la corriente promedio de estas vibraciones se mantiene en cero, los movimientos instantáneos de las cargas originan un voltaje instantáneo a través de las terminales del resistor.

El ruido excesivo, por otro lado, ocurre principalmente cuando fluye CD en un medio discontinuo, tal como en un resistor de composición de carbón. La corriente fluye desigualmente a través de los gránulos de carbón comprimido, creando "arcos" microscópicos entre las partículas. El fenómeno provoca un espectro de $1/f$ ruido-potencia, además del espectro de ruido térmico. En otras palabras, el exceso de ruido de voltaje instantáneo aumenta con la inversa de la raíz cuadrada de la frecuencia.

El ruido excesivo muchas veces sorprende al diseñador desprevenido. El ruido térmico en el resistor y el ruido en el amplificador operacional conforman la base de ruido en los circuitos típicos de amp-op. Sólo cuando aparecen voltajes a través de los resistores de entrada y hacen que la corriente fluya es cuando el ruido excesivo se convierte en un factor significativo y a menudo dominante. En general, los resistores de composición de carbón son los que mayor ruido excesivo generan. A medida que el medio conductor se vuelve más uniforme, el ruido excesivo se vuelve menos significativo. Los resistores de película de carbón son los mejores, pero son aún mejores los de película de metal. Los fabricantes especifican el ruido excesivo en términos de índice de ruido -el nú-

mero de microvoltios de ruido rms en el resistor en cada década de frecuencia por voltio de caída de CD a través del resistor. El índice puede elevarse a 10 dB (3 microvoltios por voltio de CD por década de ancho de banda) o más. El ruido excesivo es más significativo a bajas frecuencias. Por arriba de 100 kHz predomina el ruido térmico.

Potenciómetros

Los potenciómetros ajustables pueden sufrir la mayoría de los fenómenos que afectan a los resistores fijos. Los usuarios deben estar pendientes de los riesgos adicionales que son únicos para estos componentes. Por ejemplo, muchos potenciómetros ajustables no están sellados y pueden ser dañados severamente por disolventes usados en el lavado de las tarjetas, e inclusive por humedad excesiva. La vibración -o simplemente su uso extenso- pueden dañar el elemento resistivo y las terminales del elemento deslizante. El ruido de contacto, los coeficientes de temperatura, los efectos parasíticos y las limitaciones del rango ajustable pueden todos interferir en el funcionamiento del circuito. Más aún, la resolución limitada de los enrollados de alambre y las limitaciones poco aparentes en la resolución de los componentes de cermet (cerámica + metal) o plástico (histéresis, coeficientes de temperatura incompatibles, pérdidas) hacen que la obtención y mantenimiento de ajustes precisos sean un proceso "infinito de resolución". **Regla: use márgenes infinitésimales de ajuste e infinitos cuidados para evitar frustraciones interminables.**

TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO

Las tarjetas de circuitos impresos actúan como "componentes invisibles" en todos los diseños de circuitos de precisión. Puesto que los diseñadores rara vez toman en cuenta las características eléctricas de las tarjetas de circuito impreso como componentes adicionales del circuito, el funcionamiento del circuito por lo general es peor de lo que se predijo.

Los efectos de las tarjetas de circuito impreso que son dañinos para el funcionamiento del circuito son

las resistencias de fuga, caídas de voltajes en el laminado de tierra (chasis), capacitancias parasíticas (o dispersas), absorción dieléctrica y el efecto "hook" correlacionado (una característica sobresaliente de la forma de onda de la respuesta escalón del circuito). Además, la tendencia de las tarjetas de circuito impreso de absorber la humedad atmosférica (higroscopía) hacen que los cambios en la humedad muchas veces contribuyan a que algunos efectos parasíticos varíen de un día al otro.

En general, los efectos de las tarjetas de circuito impreso pueden dividirse en dos categorías, aquellos que afectan más notoriamente el funcionamiento estático o de CD del circuito, y aquellos que afectan más el funcionamiento dinámico o de CA del circuito.

Efectos estáticos en tarjetas de circuito impreso

La resistencia de fuga es el efecto estático dominante del circuito impreso. La contaminación de la superficie de la tarjeta, en forma de residuos de pasta (fundente), depósitos de sales y otros desechos pueden originar vías de fuga entre los nodos del circuito. Inclusive en tarjetas bien limpias, es usual encontrar fugas de 10 nA o más a nodos cercanos de pistas de 15 voltios de alimentación.¹ Corrientes de fuga en el rango de nanoamperes que penetren en los nodos equivocados pueden causar errores de voltaje en la salida del circuito; por ejemplo, 10 nA que se introduzcan en una resistencia de 10 megaohmios pueden causar un error de 0.1 V.

Para identificar los nodos sensibles a los efectos de las corrientes de fuga, hágase esta simple pregunta: si una corriente parasítica de unos pocos nanoamperes o más fuese inyectada en ese nodo, ¿tendría efecto?

Si el circuito ya está construido, usted puede localizar el nodo del cual sospecha sea sensible a la humedad mediante una prueba clásica. Mientras observa el funcionamiento del circuito, sopla a través de un popote (pajilla, pitillo) sobre los puntos potencialmente problemáticos. El popote concentra la humedad de su respiración, la cual en combinación con el contenido de sales de la tarjeta interrum-

1 Desafortunadamente, el diseño estándar de los amp-op coloca la patita de -15 voltios de alimentación justo al lado de la entrada +, la cual, a menudo, se espera esté en impedancia elevada.

pe el funcionamiento del circuito en cuanto se pone en contacto con las porciones susceptibles del diseño.

Hay diversas formas para eliminar los problemas de una simple fuga en la superficie. El lavado profundo de las tarjetas de circuito para eliminar los residuos es de gran ayuda. Un procedimiento simple incluye el cepillado vigoroso de las tarjetas con alcohol isopropílico, seguido de un lavado profundo con agua desionizada y un horneado a 85° C durante varias horas. Sea cuidadoso al escoger los disolventes para lavar las tarjetas. Si se limpian con disolventes cuya base es el Freón, algunas pastas (fundentes) solubles en agua crean depósitos de sales, agravando así el problema de fuga.

Desafortunadamente, si un circuito muestra sensibilidad a la fuga, aun la limpieza más vigorosa puede proporcionar tan sólo una solución temporal. Los problemas vuelven pronto en cuanto la tarjeta es manipulada o expuesta a condiciones atmosféricas adversas o a elevada humedad. El blindaje ofrece, por otro lado, una solución bastante confiable y permanente al problema de la fuga de superficie. Los blindajes colocados adecuadamente pueden eliminar los problemas de fuga, aun en circuitos expuestos a ambientes industriales pesados.

Los principios de blindaje son simples: cubra los nodos sensibles con conductores que puedan fácilmente disipar corrientes extrañas, y mantenga dichos conductores al potencial exacto del nodo sensible. El potencial de resguardo debe mantenerse cercano al potencial del nodo sensible; de otra forma el blindaje servirá como una fuente en lugar de un disipador, por ejemplo, para mantener la corriente de fuga en un nodo por abajo de valores de picoamperes, suponiendo una resistencia de fuga de 1000 megaohmios, el blindaje y el nodo deben tener una diferencia no mayor de 1.0 milivoltio.

Las figuras 7a y 7b ilustran el principio de blindaje tal como se emplea en aplicaciones típicas de amp-op inversores y no-inversores. La figura 7c ilustra un diseño real de una tarjeta para un blindaje. Nótese que para que sea más efectivo, el diseño del blindaje deberá aparecer en ambos lados de la tarjeta. Trate de incluir los blindajes en su primer diseño de tarjeta, desde el principio. En las etapas posteriores, por lo general no hay suficiente espacio para colocarlos en forma óptima, -si acaso queda algún espacio disponible.

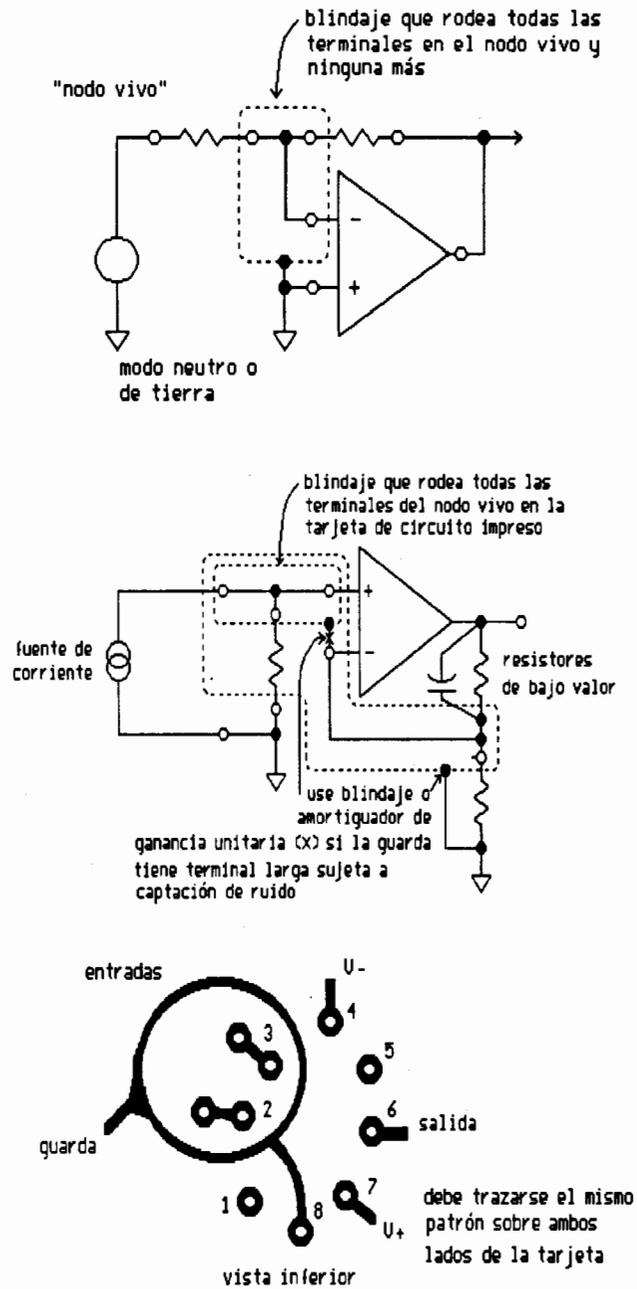


Figura IV(C)- 7. El blindaje apropiado del circuito resuelve tanto los errores inducidos estática o dinámicamente en la tarjeta de circuito impreso. a) Uso de blindaje en aplicaciones de inversión. b) Uso de blindaje local en una aplicación de no-inversión. Un separador de voltaje sería de ayuda para blindar el cable. c) Patrón de blindaje de circuito impreso para un amp-op.

Efectos dinámicos en tarjetas de circuito impreso

Aunque los efectos estáticos de las tarjetas pueden aparecer o desaparecer por cambios en la humedad o por cambios en la contaminación de la tarjeta, los problemas que afectan el funcionamiento dinámico de un circuito, por lo general, permanecen relativamente constantes. Un corto circuito en un diseño nuevo no puede arreglarse mediante el lavado o cualquier otro método simple de reparación. Como tales, pueden afectar permanente y adversamente las especificaciones y funcionamiento de un diseño.

El problema de la capacitancia parásita, relacionada con la colocación de las terminales o de los componentes, es razonablemente bien conocido por la mayoría de los diseñadores de circuitos. Puesto que la colocación de las terminales puede resolverse permanentemente mediante un diseño correcto, cualquier dificultad remanente se puede resolver entrenando al personal de ensamblado para que oriente adecuadamente o doble las terminales de los componentes en forma óptima.

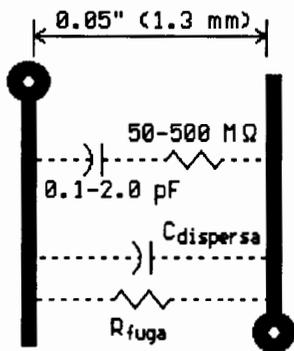


Figura IV(C)-8. La absorción dieléctrica afecta la respuesta dinámica de los circuitos impresos.

La absorción dieléctrica, por otro lado, representa un fenómeno más problemático y poco entendido en circuitos impresos. Tal como la absorción dieléctrica en los capacitores, la absorción dieléctrica en un circuito impreso puede representarse mediante un resistor y un capacitor en serie que conectan dos nodos colocados muy cercanamente (Fig. 8). Su efecto es inverso al espacio y lineal a la longitud. La capacitancia efectiva del modelo varía de 0.1 a 2.0 pF, con la resistencia que varía de 50 a 500 MΩ. Valores de 0.5 pF y 100 MΩ son los más

comunes. En consecuencia, la absorción dieléctrica de las tarjetas de circuito impreso interactúa en mayor proporción con los circuitos de impedancia elevada.

Tal absorción dieléctrica influye más notoriamente en la respuesta dinámica de los circuitos, por ejemplo, tiempo de ajuste. A diferencia de la fuga en el circuito, los efectos no están usualmente relacionados con la humedad u otras condiciones ambientales, sino más bien son una función de las propiedades dieléctricas de la tarjeta.

La química empleada para hacer el metalizado de los hoyos parece agravar el problema. Si su circuito no cumple con las especificaciones esperadas de respuesta transitoria, debe considerar la absorción dieléctrica de la tarjeta como una posible causa

Afortunadamente, hay soluciones. Tal como en el caso de la absorción dieléctrica de los capacitores, pueden usarse componentes externos para compensar el efecto. Más importante aún, blindajes superficiales que aíslen totalmente los nodos sensibles a menudo resuelven completamente el problema. (Los blindajes deben duplicarse en ambos lados de la tarjeta.)

El efecto "hook" de las tarjetas de circuito impreso, aunque similar pero no idéntico a la absorción dieléctrica, se caracteriza por una variación en la capacitancia efectiva de la tarjeta con respecto a la frecuencia. En general, afecta la respuesta transitoria de circuitos de elevada impedancia donde la capacitancia de la tarjeta representa una porción apreciable de la capacitancia total del circuito. Los circuitos que funcionan a frecuencias por abajo de 10 kHz son los más susceptibles. Tal como en la absorción dieléctrica, el acabado químico de la tarjeta influye grandemente en sus efectos.

NO DESCUIDE NADA

Recuerde, si su diseño basado en un amp-op o en un convertidor de datos no cumple con las especificaciones, no descuide ningún punto en sus esfuerzos por encontrar las fuentes de error. Analice tanto los componentes pasivos como los activos, y trate de identificar o rechazar cualquier suposición, noción preconcebida que pueda cegarlos ante los hechos. No tome nada por hecho.

Por ejemplo, cuando los conductores de alambre no están fijados, al moverse dentro de los dieléctricos circunvecinos, pueden crear cargas estáticas significativas que producen errores, en especial cuando es-

tán conectados a circuitos de elevada impedancia. Los cables rígidos o inclusive los cables cubiertos de Teflón, de elevado costo, son una alternativa cara.

A medida que se hacen más accesibles los amp-op de precisión y convertidores de datos de muy elevada resolución, y los diseños de equipo requieren de mayor velocidad y exactitud, se vuelve más importante el conocimiento profundo de las fuentes de error descritas en este artículo.

REFERENCIAS

- 1.- Buchanan, James, E. "Dielectric Absorption -It Can Be a Real Problem In Timing Circuits" EDN, Enero 20, 1977, página 83.
- 2.- Counts, Lew, and Wurcer, Scott. "Instrumentation Amplifier Nears Input Noise Floor". Electronic Design, Junio 10, 1982.
- 3.- Doeling, W., Mark, W., Tadewald, T. and Reichenbacher, P. "Getting Rid of Hook: The hidden PC-Board Capacitance". Electronics, Octubre 12, 1978, página 111.
- 4.- Fleming Tarlton. "Data-Acquisition Systems (DAS) Design considerations" WESCON'81 Professional Program Session Record No. 23.
- 5.- Jung, Walter C. and Marsh, Richard. "Picking Capacitors, Part I", Audio, Febrero, 1980.
- 6.- Jung, Walter C. and Marsh, Richard. "Picking Capacitors, Part II", Audio, Marzo, 1980.
- 7.- Pease, Robert A. "Understand Capacitor Soakage to Optimize Analog Systems". EDN, octubre 13, 1982, página 125.
- 8.- Rappaport, Andy. "Capacitors" EDEN, octubre 13, 1982, página 105.
- 9.- Rich, Alan. "Shielding and Guarding". Analog Dialogue 17-1, 1983. página 8.
- 10.- Especificación MIL C-19978D: Especificaciones generales del dieléctrico para capacitores fijos, de plástico o papel y plástico.

APENDICE D

CAPITULO IV

CELIDAS

A continuación se presenta información más detallada sobre las celdas. (Recuerde que una o varias celdas forman una batería.)

Las celdas primarias (al descargarse, se desechan) pueden clasificarse en seis subgrupos importantes:

1. Pilas Patrón de Fuerza Electromotriz (EMF). Estas celdas utilizan productos químicos de muy alta pureza y se diseñan para utilizarse como patrones de tensión (voltaje) de referencia.
2. Celdas de Electrólito Sólido. Estas celdas sólo usan materiales sólidos. Su principal ventaja es su larga duración en almacenamiento. Sin embargo, su uso está restringido a aplicaciones en corriente baja.
3. Celdas Húmedas. Estas celdas manejan corrientes relativamente grandes. Dos o más de las celdas más comunes, la celda Leclanche y la celda de zinc y "aire", se activan añadiéndoles un electrólito de sosa caústica justo antes de usarse.
4. Celdas Secas. Este tipo de celdas es el de uso más generalizado y el más común. Además del tipo de carbono-zinc (Leclanche), existen otros tipos, como el de óxido de zinc-mercurio (Ruben o mercurio), el de bióxido de zinc-manganeso (alcalino), el de óxido de zinc-plata (alcalino) y varios otros tipos más recientes.
5. Celdas de Reserva. Estas celdas están diseñadas para usarse en aplicaciones de "un disparo" o de "acción retardada". Una celda de reserva permanece esencialmente inactiva en el estado de reserva o de espera hasta que se requiere su uso. Entonces se le activa, agregándole un líquido o un gas, o por medio de la aplicación de calor.
6. Celdas de Combustible. El conocido proceso de quemar combustible para obtener energía calorífica, la cual a su vez se convierte en energía mecánica y después en energía eléctrica, puede remplazarse por una celda de combustible. Al añadir

a esta celda combustibles carbónicos o de hidrógeno, se produce una reacción que convierte directamente la energía química en energía eléctrica.

En las celdas secundarias (recargables), los productos químicos que proporcionan la energía pueden restituirse para que vuelvan a su condición original por medio de la aplicación de corriente directa a la celda en dirección inversa al flujo de la corriente durante la descarga.

Aunque las celdas primarias y secundarias tienen una construcción diferente, poseen los mismos elementos básicos, es decir, dos electrodos y un electrólito. Un electrodo se "reduce" químicamente cuando fluye corriente y se convierte en terminal negativa (cátodo), mientras que el otro se "oxida" ¹ y se convierte en terminal positiva (ánodo). El proceso continúa ya sea hasta que se rompa el circuito o hasta que se agote la celda (figura 1).

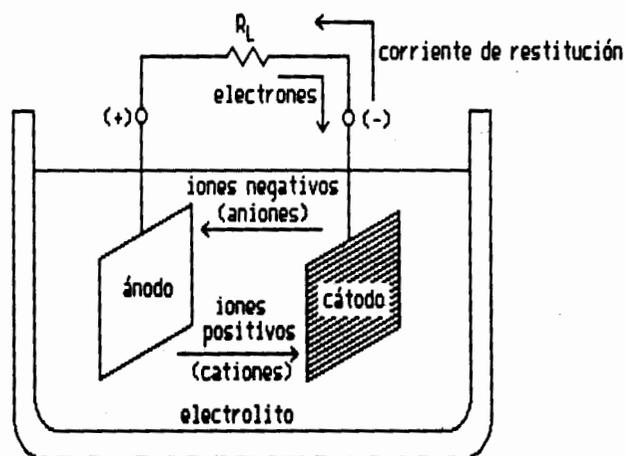


Figura IV(D)- 1. Elementos de una celda.

1 Reducción es la adición de electrones por un átomo o grupo de átomos. Oxidación es la pérdida de electrones por un átomo o grupo de átomos.

BATERIAS

Una batería está compuesta por una combinación específica de celdas que tienen un ánodo, un cátodo y un electrólito. Algunos sistemas primarios comunes incluyen carbono-zinc, manganeso alcalino, óxido de mercurio y óxido de plata (cuadro I).

El material catódico que se utiliza en la terminal negativa es por lo general un metal como plomo, cadmio, manganeso o zinc. Todos ellos se caracterizan por su facilidad de liberar electrones y de convertirse en iones con carga positiva (cationes) en el electrólito.

Los materiales anódicos, en contraste, son por lo general compuestos químicos tales como el PbO_2 , MnO_2 y Hg , y Ag_2O o AgO . Estos compuestos se conocen como materiales de depolarización y se caracterizan por su facilidad para aceptar electrones. Se reducen a un estado más bajo de oxidación por medio de la actividad del electrólito y durante ese proceso forman iones con carga negativa (aniones)¹ en el electrólito.

El electrólito, en una batería, completa el circuito eléctrico entre los dos electrodos con su trayectoria de conducción iónica. Como el electrólito reacciona químicamente con ambos electrodos, éste debe coincidir con las propiedades de los materiales catódico y anódico. La proporción de reacciones químicas que se llevan a cabo en la celda depende de la proporción de la difusión iónica, de la temperatura, de la superficie efectiva de los electrodos y de la carga conectada a través de la celda. Cuando la batería va llegando al fin de su utilidad, el electrólito aumenta progresivamente su "debilidad" y los electrodos se consumen parcialmente.

Selección de una batería apropiada

Para hacer la selección apropiada es necesario conocer las características de aplicación, como son: a) voltaje, b) corriente, c) períodos de funcionamiento, d) temperatura, e) vida útil mínima de la batería y f)

tipo de terminales. Deben considerarse también la temperatura y humedad del ambiente, ya que estas condiciones alteran el funcionamiento de las baterías y del aparato. Además, si el equipo está diseñado de tal manera que no debe funcionar por debajo de cierto voltaje "crítico", este valor debe especificarse. Asimismo, debe especificarse la corriente inicial y la de operación, con estos datos debe determinarse la capacidad en amperes/hora de la batería.

Además, para seleccionar una batería adecuada es necesario especificar si ésta se almacenará por un tiempo antes de su instalación, así como especificar la temperatura y humedad del ambiente donde se almacenará. El tamaño y peso de la batería deben ser tomados en cuenta también, pensando que, por lo general, las más grandes y pesadas son las más confiables y económicas.

Probablemente el factor más importante para la selección sea si es recargable (secundaria) o no (primaria). Si el costo inicial debe ser bajo, las no recargables son adecuadas siempre y cuando proporcionen las necesidades de voltaje y consumo de corriente en las temperaturas de funcionamiento.

BATERIAS PRIMARIAS (SECAS)

El cuadro II indica las principales características de los diversos tipos de baterías primarias en el mercado. La celda seca de carbono-zinc (Leclanche') es una fuente importante de energía de bajo costo, ya que se encuentra en una amplia variedad de estilos, tamaños, formas y disposición de las terminales. Sin embargo, las baterías de carbono y zinc tienen dos desventajas importantes: su funcionamiento limitado a bajas temperaturas y una disminución sustancial en su eficiencia en altos consumos de corriente. (NOTA: En la mayor parte de Latinoamérica, la temperatura no representa mayor problema.) El tipo de cloruro de zinc de la batería de carbono-zinc supera estas limitaciones en gran medida. Su funcionamiento a bajas temperaturas es mejor que el de la batería de Leclanche', y trabaja mejor en consumos de corriente que van de moderado a alto.

1 Los iones positivos se llaman cationes y los negativos aniones. Estos nombres se derivan de los nombres de los electrodos: Los cationes son atraídos hacia el cátodo, o sea el electrodo cargado negativamente y los aniones son atraídos hacia el ánodo, es decir, el electrodo cargado positivamente.

Cuadro IV (D) - I. Características de las baterías primarias

NOMBRE COMUN	Carbón - Zinc (Leclanché)	Carbón - Zinc (Cloruro de zinc)	Bióxido de Manganeso alcalina	Oxido de mercurio	Oxido de plata	Oxido de plata Bivalente	Zinc Aire	Litio
SISTEMA ELECTROQUIMICO	Bióxido de manganeso - zinc (generalmente llamada Leclanché o carbón - zinc)	Bióxido de manganeso - zinc	Bióxido de manganeso alcalino - zinc	Oxido zinc - mercurio	Oxido zinc - plata	Oxido zinc - plata bivalente	Zinc - Oxígeno	
VOLTAJE POR CELDA	1.5	1.5	1.5	1.35	1.5	1.5	1.5	2.8 (también 1.9 y 3.4)
ELECTRODO NEGATIVO	Zinc	Zinc	Zinc	Zinc	Zinc	Zinc	Zinc	
ELECTRODO POSITIVO	Bióxido de manganeso-	Bióxido de manganeso	Bióxido de manganeso-	Oxido mercurio	Oxido de plata monovalente	Oxido de plata bivalente	Oxígeno	
ELECTROLITO	Solución acuosa de cloruro de amonio y cloruro de zinc	Solución acuosa de cloruro de zinc	Solución acuosa de hidróxido de potasio	Solución acuosa de hidróxido de potasio o de sodio	Solución acuosa de hidróxido de potasio o de sodio	Solución acuosa de hidróxido de potasio o de sodio	Solución acuosa de hidróxido de potasio	
CAPACIDADES DE SERVICIO COMERCIAL	60 mA/h a 30 A/h	varios cientos de mA/h a 30 A/h	varios cientos de mA/h a 23 A/h	15 mA/h a 28 A/h	35 mA/h a 210 mA/h	45 mA/h a 245 mA/h	170 mA/h a 300 mA/h	30 mA/h a 12 A/h
DENSIDAD DE ENERGIA vatios-hr/lb vatios-hr/pulg ³	20 2	40 3	45 2 a 3	50 8	50 8	65 12	125 15	100 a 150 8 a 12
INTENSIDAD PRACTICA DE CONSUMO DE CORRIENTE: IMPULSO ALTO (masa de 50 mA) BAJO (menos de 50 mA)	SI 100 mA/pulg ² del área de zinc (celda "D") SI	SI 150 mA/pulg ² del área de zinc (celda "D") SI	SI 200 mA/pulg ² del área de zinc (celda "D") SI	SI No SI	SI No SI	SI No SI	SI SI SI	
CURVA DE DESCARGA (Forma)	Inclinada	Inclinada	Inclinada	Uniforme	Uniforme	Uniforme	Uniforme	
GAMA DE TEMPERATURA EN ALMACENAJE (EN °C) EN OPERACION (EN °C)	-40 a 50 -4 a 55	-40 a 70 -17 a 70	-40 a 50 -4 a 55	-40 a 60 0 a 55	-40 a 60 0 a 55	-40 a 60 0 a 55	-40 a 60 -11 a 55	-55 a 70 -40 a 70
IMPEDANCIA	Baja	Baja	Muy baja	Baja	Baja	Baja	Baja	Muy baja
DURACION EN ALMACENAJE	Regular	Regular	Buena	De regular a buena	Buena	Buena	De buena a excelente	Excelente
COSTO: INICIAL DE OPERACION	Bajo Bajo	De bajo a medio De bajo a medio	Medio De medio a alto en necesidades altas de energía	Alto Alto	Alto Alto	Alto Alto	Medio De bajo a medio	Alto Medio

Cuadro IV (D) - II. Características promedio de las baterías secas

NOMBRE COMUN	Carbón - Zinc	Carbón - Zinc (Cierre de zinc)	Bióxido de Manganeso alcalina	Oxido de Mercurio	Oxido de Plata	Níquel - Cadmio
SISTEMA ELECTROQUIMICO	Bióxido de manganeso - zinc (con frecuencia llamada Le-clanche o de carbón - zinc)	Bióxido de manganeso - zinc	Bióxido de manganeso alcalina - zinc	Oxido de mercurio - zinc	Oxido de plata - zinc	Níquel - Cadmio
TIPO	Primaria	Primaria	Primaria y recargable	Primaria	Primaria	Recargable
CAPACIDAD DE RECARGA	Pobre	Pobre	Buena	No	No	SI
NUMERO DE CICLOS	10 - 20	10 - 20	50 - 60 Sólo las recargables			300 - 2000
ENTRADA, SI ES RECARGABLE			Aprox. 100% de energía extraída. Sólo recargables.			Sellada mínimo de 140% de energía extraída.
CAPACIDADES DE SERVICIO COMERCIAL	60 mA/h a 30 A/h	varios cientos de mA/h a 9 A/h	varios cientos de mA/h a 23 A/h.	16 mA/h a 28 A/h	37 mA/h a 210 mA/h	Sellada; 20 mA/h a 4 A/h
EFFECTO DE LA TEMPERATURA SOBRE LA CAPACIDAD DE SERVICIO	Temperatura baja deficiente	Buena temperatura baja con relación al carbón - zinc	Buena temperatura baja	Buena temperatura alta, deficiente temperatura baja, depende de su construcción.	Temperatura baja deficiente, depende de su construcción.	Muy buena en temperaturas bajas; pobre en temperaturas altas
GOTEO	Medio en condiciones de abuelo	Bajo	Poco frecuente	Alguna precipitación salina	Alguna precipitación salina	No
GASIFICACION	Medio	Mayor que la de carbón - zinc	Baja	Muy baja	Muy baja	Baja
CONFIABILIDAD (CARENCIA DE FALLAS; NIVEL DE CONFIANZA 95%)	99% en 2 años	99% en 2 años	99% en 2 años	99% en 2 años	99% en 2 años	99% en 2 años
RESISTENCIA A LOS GOLPES	De regular a buena	Buena	De regular a buena	Buena	Buena	Buena
CARACTERISTICAS	Bajo costo; variedad en formas y tamaños	Capacidad de servicio en consumos de corriente de moderados a altos mayor que el carbón - zinc; buena resistencia al goteo, funcionamiento en bajas temperaturas mejor que la de carbón - zinc.	Alta eficiencia en condiciones moderadas de uso continuo; buen funcionamiento a bajas temperaturas; baja impedancia.	Alta proporción de capacidad de servicio / volumen; característica de descarga de tensión uniforme; funcionamiento bueno en temperaturas altas.	Características de descarga de tensión moderadamente uniforme	Excelente vida cíclica, características de descarga de voltaje unitarias; buen funcionamiento en temperaturas altas y bajas; alta resistencia a los golpes y la vibración; se puede almacenar indefinidamente con cualquier cantidad de carga
LIMITACIONES	Eficiencia decrece en altos consumos de corriente; funcionamiento pobre a bajas temperaturas		Tipo primario costoso para consumos bajos. Vida cíclica con capacidad de recarga limitada; disminución del voltaje limitado de carga de corriente.	Funcionamiento deficiente en bajas temperaturas en algunos tipos.		Alto costo inicial; retención de carga regular.

A pesar de ser más costosas que las baterías de carbono y zinc, las baterías alcalinas son muy eficientes en aplicaciones de consumo moderado y de consumo de energía continuo e intenso. La batería alcalina proporciona un servicio mucho más prolongado que la batería de carbono-zinc, además de que funciona muy bien a bajas temperaturas y tiene una duración en almacenamiento excelente. Sin embargo, son relativamente costosas, en especial en aplicaciones de bajo consumo de corriente.

La alta concentración de energía, en una batería de óxido de mercurio, da como resultado un paquete, cuyo tamaño, comparado con una batería de carbono-zinc, es menor que la mitad de éste. Las baterías de óxido de mercurio, generalmente, se empaquetan en configuraciones planas y tipo botón para utilizarse en aplicaciones donde el espacio es preciado. Dos de las desventajas más importantes de estas baterías son su alto costo y su deficiente operación a bajas temperaturas.

Las baterías de óxido de plata, que se empaquetan como las de óxido de mercurio, se utilizan en muchas aplicaciones. En algunas de ellas, las baterías de óxido de plata tienen una ventaja distinta, por su mayor tensión de celda (1.55 V, comparado con 1.35 V del óxido de mercurio). Este mejor funcionamiento se refleja en un costo mayor. La batería de óxido de plata divalente proporciona mucho mayor densidad de energía y mayor capacidad de miliamperios-hora que el tipo monovalente básico, cuyos costos son casi iguales.

Carbono-Zinc (CZn).

Existen dos tipos principales de baterías de CZn: las de configuración cilíndrica de 1.5 V (Fig. 2) y las rectangulares, tales como la batería para radio transistor de 9.0 V

Las baterías primarias de CZn se utilizan principalmente en radios portátiles, relojes, linternas y juguetes. Pocas veces se usan en cámaras, compaginadores y calculadoras.

A pesar de que se han mejorado mucho las celdas de CZn, no se ha podido resolver la tendencia en la batería a tener fugas de electrolito.

En la celda de CZn, la cubierta de zinc sirve como electrodo negativo y como recipiente del contenido. El material para el electrodo positivo de esta celda es la mezcla del cátodo. Sin embargo, esta mezcla es un polvo, que no es un producto de terminación mecánicamente adecuado para el electrodo positivo.

Para superar este problema se inserta una varilla de carbono con una gran superficie en la mezcla del cátodo. La varilla de carbono es un buen conductor de la electricidad; químicamente es inerte y su amplia superficie proporciona una trayectoria conductora de baja resistencia. La varilla de carbono también es lo suficientemente porosa como para permitir que escape el gas que se acumula en la celda, pero no permite que el material electrolítico se pierda.

Bióxido de Manganeso-Zinc (Alcalino)

Las celdas alcalinas que forman las llamadas baterías alcalinas se utilizan principalmente en las linternas, cámaras, grabadoras y calculadoras. En ocasiones se usan en radios, relojes, juguetes, compaginadores y otros aparatos domésticos pequeños. Cuando las baterías alcalinas se usan en juguetes, tienen una duración siete veces mayor que las de CZn; en las calculadoras de bolsillo, la proporción es de aproximadamente tres a uno, y en las grabadoras de cassette, de aproximadamente cinco a uno.

Las celdas alcalinas difieren de las celdas de CZn convencionales en la estructura de sus electrodos y en su material electrolítico, que es una solución acuosa de hidróxido de potasio, saturado con óxido de zinc (figura 3).

El electrodo negativo es una mezcla de bióxido de manganeso y grafito de construcción densa. El electrodo positivo está formado de zinc en polvo fuertemente amalgamado y empacado como un polvo suelto en el centro de la celda.

Por su complicada construcción y el uso de materiales más costosos, la batería alcalina es bastante más cara que la de celdas de CZn. Sin embargo, su buen desempeño justifica su precio. En un mismo espacio físico contiene más energía que los tipos de CZn y ZnCl; puede descargar en proporciones mayores con una caída de voltaje menos importante; posee una adecuada duración de almacenamiento y un buen funcionamiento a bajas temperaturas. También su capacidad para abastecer energía es más independiente del ciclo de rendimiento del aparato al que abastece de energía.

La celda alcalina básica tiene una tensión de circuito abierto de 1.5 V. Conforme se descarga la celda, la tensión de circuito cerrado de la misma cae gradualmente. Esta disminución en la tensión de trabajo se lleva a cabo más lentamente que en la de una celda de CZn. Por lo tanto, para un tamaño dado, las baterías alcalinas tendrán una vida útil más

CUBIERTA DE UNA PIEZA (+) ACERO ESTAÑADO

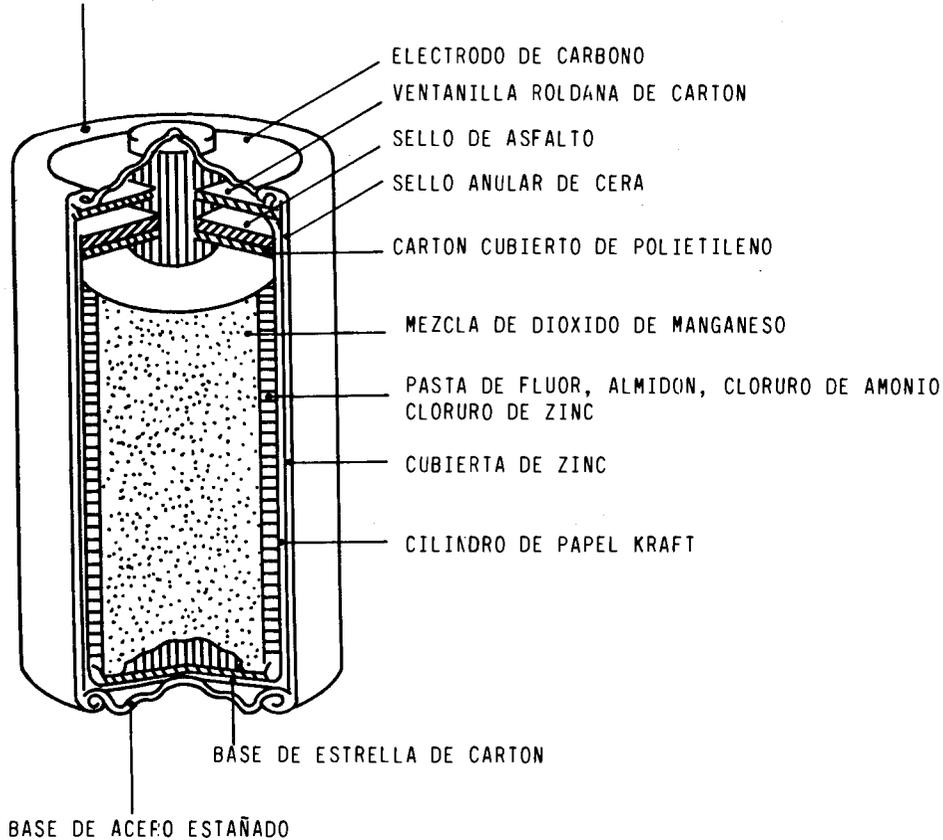


Figura IV(D)-2. Celda de Carbono-Zinc (CZn).

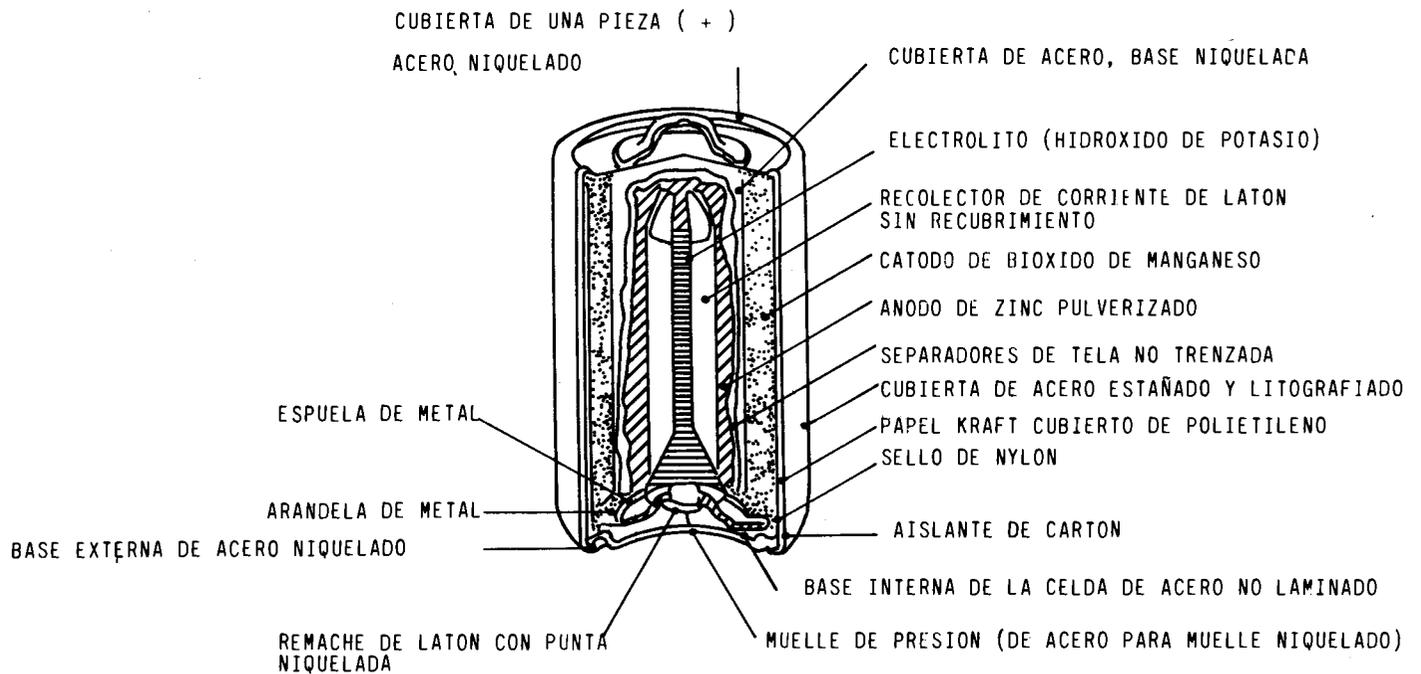


Figura IV(D)-3. Celda alcalina.

larga que las baterías de CZn cuando se usen en aplicaciones similares. La impedancia interna de las celdas alcalinas es relativamente baja. Las características de baja impedancia y rápida polarización les permite funcionar con eficiencia en grandes consumos de energía, incluso en aplicaciones de descarga continua, como en el uso del "flash".

La celda alcalina posee una buena duración de almacenamiento que se asemeja a la de la celda de mercurio. La duración puede prolongarse si se les almacena a bajas temperaturas.

Las celdas también tienen un buen funcionamiento a bajas temperaturas.

Oxido de Mercurio y Zinc (Mercurio)

Las celdas de mercurio del tipo de botón abastecen de energía al equipo pequeño, como los relojes electrónicos, exposímetros, cámaras, aparatos de ayuda auditiva y marcapasos cardiacos. Estas celdas miden normalmente 3.17 mm (0.125 pulgadas, 1/8 de pulgada) de alto y 6.35 mm (0.250 pulgadas, 1/4 de pulgada) de diámetro y vienen también en configuraciones cilíndricas, en forma de pastilla plana.

Las celdas de mercurio se dividen en dos tipos básicos: uno, con un voltaje nominal de 1.35 V y el otro con 1.4 V. En general se recomienda las celdas de 1.35 V como fuentes de referencia de tensión en aplicaciones científicas y médicas. La mayoría de aparatos de electrodiagnóstico, ECG, EEG, EMG, polígrafos, usan baterías con estas celdas para proporcionar la "señal de calibración". Las celdas de 1.4 V se usan principalmente en aplicaciones de consumo masivo, donde no se requieren características de voltaje uniforme. Las celdas de mercurio poseen las características de descarga de voltaje uniforme, un buen funcionamiento a altas temperaturas, adecuada resistencia a los golpes y las vibraciones y una duración de almacenamiento de hasta dos años y medio.

En todas estas celdas, una barrera permeable de iones separa al ánodo, formado de zinc amalgamado de alta pureza, del cátodo de óxido de mercurio y grafito. Los iones del electrolito, que es una solución de hidróxido alcalino, actúan como portadores de la reacción química en la celda. Para minimizar la corrosión, los recipientes de la celda son de acero niquelado.

En la celda de mercurio que se muestra en la figura 4, el electrodo de zinc en polvo hace contacto con la tapa de acero niquelado que está aislada del cas-

quillo de acero externo. Esto hace que la tapa o terminal superior sea negativa con respecto al cuerpo de acero. En consecuencia, la polaridad de la celda de mercurio es inversa a la de la celda de CZn.

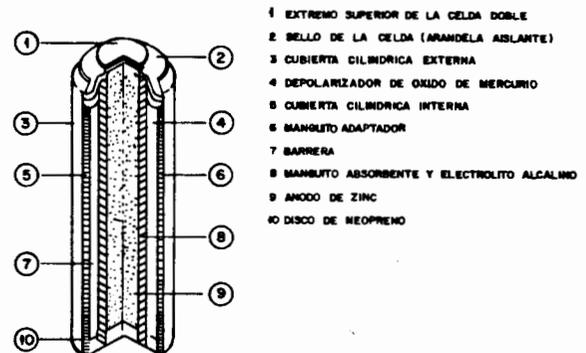


Figura IV(D)-4. Celda Cilíndrica de Oxido de Mercurio y Zinc

Las celdas básicas de mercurio difieren en su construcción interna y en su diseño externo. Electroquímicamente, sin embargo, son idénticas.

Como el sistema de mercurio está químicamente balanceado y es bastante eficiente, la capacidad de la celda o batería de mercurio es relativamente constante, tanto para los ciclos de descarga intermitente como para los de descarga continua, dentro del consumo de corriente recomendado. Las horas de servicio promedio que se pueden obtener de una celda o batería de mercurio dependerá de las condiciones de aplicación y ambientales a las que se le haya sometido, antes y durante su uso.

Oxido de Plata

A pesar de que un sistema de batería que utiliza el óxido de plata monovalente tiene casi la misma densidad de energía que una celda de mercurio, su salida de 1.5 V es mayor. Esto hace que se prefiera su uso en la presentación visual con diodos emisores de luz (LED's) en los relojes digitales así como en cámaras y aparatos de ayuda auditiva. Sin embargo, a causa del costo de los materiales, las celdas de óxido de plata son más caras que las celdas de óxido de mercurio. A diferencia del empaque de estas últimas, las de óxido de plata se encuentran básicamente en configuración de botón.

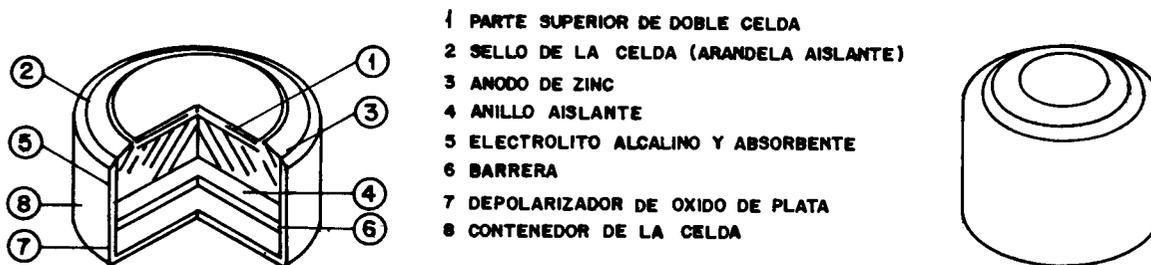


Figura IV(D)-5. Celda Seca de Oxido de Plata-Zinc.

1. Celdas de Oxido de Plata-Cadmio. Estas celdas utilizan el óxido de plata como el electrodo positivo para obtener una mayor capacidad de vatios-hora, y el cadmio en los electrodos negativos para prolongar su vida de operación. Aunque las celdas de óxido de plata-cadmio no tienen la capacidad de vatios-hora de las celdas de óxido de plata-zinc, tienen una vida útil más larga y más uso en las aplicaciones de corriente baja.
2. Celdas de Oxido de Plata-Zinc. Estas celdas, que se ilustran en la figura 5, tienen una mayor capacidad de manejo de corriente y una mayor capacidad de vatios/hora que la mayoría de las celdas secundarias. Debido a su relativamente más alto costo y a su más corta vida de operación, las celdas de óxido de plata-zinc no se emplean tan extensamente como las celdas de plomo y de hierro-níquel.

Químicamente, la celda de óxido de plata-zinc es muy similar a la celda alcalina. Se usa zinc en el ánodo y potasio o hidróxido de sodio en el electrolito, dependiendo de las aplicaciones. El óxido de plata actúa como depolarizador y como cátodo.

La celda de óxido de plata tiene una tensión de circuito abierto de 1.6 V. Cuando se descarga la celda dentro de su gama de corriente sugerida, la tensión de circuito cerrado de la celda es de aproximadamente 1.5 V, en comparación con los 1.3 V de las celdas de mercurio. Este mayor voltaje de salida en cargas bajas, se obtiene gracias al diseño que permite una densidad de energía mayor. La celda también presenta una característica de descarga

de voltaje relativamente uniforme, la cual contribuye a que tenga una vida de operación más larga.

La impedancia de las celdas de óxido de plata es baja y bastante constante, además de que no varía sustancialmente hasta que se agota.

El promedio de horas de servicio que puede obtenerse de una celda de óxido de plata variará, dependiendo de las condiciones de aplicación, descarga, ciclos, y de los factores ambientales. Sin embargo, la celda de óxido de plata proporcionará un alto porcentaje de su capacidad útil en caso de que se use en una relativamente alta tensión final de 1.1 V. Debido a la amplia superficie del ánodo, estas celdas funcionan bien a temperaturas bajas. La duración de almacenamiento de las celdas de óxido de plata es de aproximadamente un año.

Celdas de litio

Las celdas de litio operan en una gama de temperatura extremadamente amplia que va de -53° a $+71^{\circ}$ C. Como el electrolito no es acuoso, la conductividad en temperaturas frías es muy superior a las de las otras celdas primarias. Incluso a la temperatura de -55° C, los sistemas de litio proporcionan aproximadamente 50% de su capacidad.

En algunas aplicaciones, la larga duración en almacenamiento de las baterías de litio establece una importante diferencia, ya que en muchos usos un dispositivo se "queda en el estante" más tiempo del que está en uso. Los sistemas alcalinos son mejores, pero los sistemas de litio superan en mucho a cualquier otra batería primaria, pues además tiene una vida proyectada de 10 años a una temperatura de

Cuadro IV(D)-III. Duración de su vida en almacenamiento.

Temperatura de Almacenamiento	Litio	Mercurio	Magnesio	Alcalina	Carbono -Zinc
20°C	10 años+	3-4 años	5-7 años	2-3 años	1-2 años
65°C	12 meses	4 meses	7 meses	2 meses	1.5 meses

20° C. A temperaturas elevadas, las baterías de litio tienen una ventaja sustancial, como se muestra en el cuadro III.

Las baterías de litio además de usarse como fuentes de energía primaria en aplicaciones de equipo portátil, pueden usarse como fuentes de energía en reserva para memorias volátiles de semiconductores. Su pequeño tamaño, su baja proporción de descarga, y su alta densidad de energía hacen del litio el material adecuado para usarse en microcomputadoras y otros sistemas pequeños similares a las computadoras.

La batería de litio, con su núcleo enrollado en forma de espiral empacado dentro de un contenedor de acero, se parece a cualquier batería tipo "D" comercial, pero su funcionamiento varía muchísimo. Una batería D de litio estándar puede abastecer de energía a un "flash" de cámara fotográfica constantemente durante 18 horas, mientras que 2 baterías de carbono-zinc similares durarían mucho menos tiempo.

Las celdas de litio operan eficientemente en altas proporciones de descarga, lo cual es necesario para aplicaciones que tienen un alto consumo de energía. La energía de la celda D de litio con un consumo de corriente de 1 A a 21° C, equivale a cuatro celdas D de mercurio o a 30 celdas D de carbono-zinc. Si se compara la tensión uniforme/perfil de tiempo de la celda de litio con otros tipos de celdas se verá que la unidad de litio es claramente superior.

BATERIAS SECUNDARIAS

Las reacciones químicas que produce la energía eléctrica en las celdas secundarias son reversibles. Los materiales que se usan en la mayoría de las celdas secundarias son: plomo, cadmio, hierro y zinc para el electrodo negativo y bióxido de plomo, óxido de níquel, óxido de plata y bióxido de manganeso pa-

ra el electrodo positivo. Este gran grupo de celdas puede clasificarse en los siguientes subgrupos: celdas de plomo-ácido, de hierro-níquel, de níquel-cadmio, de óxido de plata-zinc, óxido de plata-cadmio y bióxido de manganeso-zinc.

La proliferación de tipos de baterías hace posible que la batería y el dispositivo operado por baterías sean muy similares. Por otro lado, la gran cantidad y variedad de baterías en el mercado pueden complicar el proceso de selección. El proceso para encontrar una batería y un dispositivo operado por ésta, que se adapten, incluye muchas alternativas. La primera interrogante a resolver se refiere al uso de una batería primaria (desechable) o al uso de una secundaria (recargable).

La naturaleza de la reacción y de los cambios físicos dentro de la batería determina si ésta puede ser recargable o no. La reacción útil de la batería primaria no es reversible. Cuando se completa la reacción química y la batería se descarga por completo, ésta debe desecharse. Sin embargo, la reacción química en una batería secundaria es reversible. Es posible devolver a las sustancias químicas su estado original suministrando corriente inversa a la batería descargada.

El número de ciclos de carga/descarga a los que se puede someter una batería secundaria depende de muchos factores. Por ejemplo, los acumuladores de plomo para automóviles pueden recargarse varias miles de veces porque su ciclo es bajo y rara vez las baterías se descargan por completo.

Las baterías secundarias selladas de níquel-cadmio y las de plomo selladas también se pueden usar en aplicaciones de consumo público. Ambas se utilizan en luces de emergencia, sistemas de alarma, grabadoras de cassettes, etcétera, y además ofrecen duración de sellado. Las baterías secundarias selladas de níquel-cadmio pueden recargarse hasta 1000 veces y las baterías selladas de plomo hasta 500.

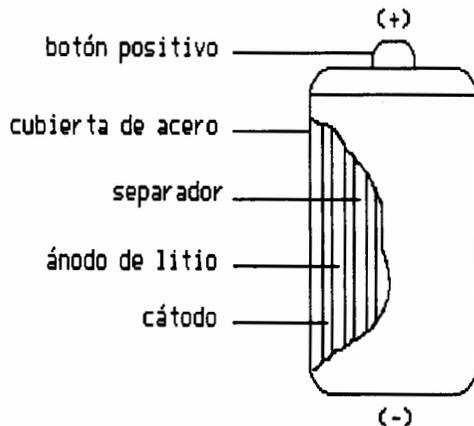


Figura IV(D)-6. Celda de Litio.

El cuadro IV muestra las características de los tipos principales de las baterías secundarias. Por muchas razones, las baterías de níquel-cadmio se usan en la mayoría de las aplicaciones. Sin embargo, las celdas de plomo están compitiendo con ellas en muchas de estas aplicaciones.

Baterías recargables alcalinas

Las celdas secas recargables alcalinas de manganeso-zinc son fuentes de energía portátiles, sólidas y de bajo costo que combinan las principales ventajas de las celdas primarias y secundarias. Las baterías construidas con este tipo de celdas se pueden usar en cualquier equipo donde se utilicen las baterías primarias y en tamaños AA, C y D, son directamente intercambiables con las baterías primarias (desechables) de carbono-zinc. Las celdas recargables alcalinas se emplean actualmente como fuentes de energía (batería recargable) para radios portátiles, televisores, fonógrafos, grabadoras, cámaras, flashes fotográficos y aparatos inalámbricos. Aunque el número total de ciclos de carga-descarga que se puede obtener de las celdas recargables alcalinas es menor del que se obtiene de las celdas de níquel-cadmio; en la mayoría de las aplicaciones, las celdas alcalinas recargables ofrecen un ahorro sustancial en el costo

cuando se las compara con las celdas de níquel-cadmio.

La celda básica recargable de manganeso-zinc está compuesta por un electrodo negativo de zinc y un electrodo positivo de bióxido de manganeso. Como electrólito se utiliza hidróxido de potasio. Esta celda se caracteriza por su construcción interna especial y porque cada celda está herméticamente sellada. Para producir una batería del voltaje deseado entre terminales, se ensambla el número necesario de celdas idénticas en serie y se sellan dentro de un cuerpo de metal.

La tensión de circuito abierto de una celda seca recargable alcalina es de 1.5 V. Las celdas recargables alcalinas tienen excelentes características de retención de carga cuando se almacenan a temperatura ambiente. Estas celdas también tienen una gran reserva de energía que puede exceder dos veces su capacidad nominal al principio de su vida cíclica. En aplicaciones que requieren de energía al instante, se puede utilizar esta reserva de energía.

Es posible que se sacrifique la vida total de la celda o su capacidad de recarga si se lleva a cabo una descarga "profunda". Esta descarga profunda se realiza cuando las celdas se descargan por debajo de 0.9 V/celda porque se lleva a cabo una reacción química secundaria irreversible dentro de las celdas que afecta desfavorablemente la capacidad de recarga de la celda. (NOTA: Esto es lo que sucede muchas veces con las baterías de los equipos de electrodiagnóstico portátiles, como por ejemplo, electrocardiógrafos, por eso no deben descargarse completamente las baterías.) Cuando la celda se descarga a su capacidad nominal, cae la tensión entre las terminales. Durante la vida cíclica temprana, la tensión entre las terminales puede ser de 1.1 a 1.2 V/celda después de un período de descarga normal. Como la celda se somete a ciclo repetidamente, tarde o temprano su tensión será de 0.9 a 1.0 V/celda después de extraer su capacidad nominal. Sin embargo, si se reduce el período de descarga se pueden obtener muchas horas de operación antes de que la tensión entre las terminales caiga por debajo de 0.9 V/celda.

Cuadro IV (D) - IV. Características de las baterías secundarias

NOMBRE COMUN	Níquel - Cadmio (Sellado)	Plata - Cadmio	Plomo (Electrolito gelificado)	Plomo (Celda de disparo)	Plata - Zinc
SISTEMA ELECTROQUIMICO	Níquel - Cadmio	Plata - Cadmio	Plomo	Plomo	Plata - Zinc
VOLTAJE POR CELDA	1.2	1.1	2.0	2.0	1.5
ELECTRODO NEGATIVO	Cadmio	Oxido de plata	Plomo calcio/antimonio	Plomo esponjado	Oxido de plata
ELECTRODO POSITIVO	Hidróxido de níquel	Oxido de cadmio	Bióxido de plomo	Bióxido de plomo	Zinc
ELECTROLITO	Solución acuosa de hidróxido de potasio	Hidróxido de potasio	Solución gelificada de ácido sulfúrico	Acido sulfúrico	Hidróxido de potasio
VIDA CICLICA	300 a 2000	150 a 300	200 a 400	300 a 500	25 a 100
CAPACIDADES DE SERVICIO COMERCIAL	20 mA/h a 10 mA/h	100 mA/h a > 50 A/h	30 mA/h a 25 A/h	2.5 A/h a 25 A/h	50 mA/h a > 50 A/h
DENSIDAD DE ENERGIA vatios-hr/lb vatios-hr/pulg ³	12 a 16 1.3 a 1.7	22 a 34 1.5 a 2.7	8 a 10 1.1	10 a 12 1.4	40 a 50 2.5 a 3.2
CURVA DE DESCARGA	Uniforme	Uniforme	Inclinada	Inclinada	Uniforme
MARGEN DE TEMPE- RATURA EN °C ALMACENAJE DESCARGA CARGA	-40 a 60 -40 a 60 0 a 45	-65 a 73.8 -23 a 73.8 0 a 46.1	-40 a 37.7 -60 a 60 0 a 45	-40 a 37.7 -60 a 65.5 -40 a 65.5	-65 a 73.8 -23 a 73.8 0 a 46.1
IMPEDANCIA	Baja	Muy baja	Baja	Baja	Muy baja
DURACION EN ALMACENAJE	Regular	Regular a buena	Buena	Buena a excelente	Regular a buena
COSTO: INICIAL DE OPERACION	Medio a alto Bajo	Alto Medio a alto	Bajo Bajo a medio	Bajo Bajo a medio	Alto Medio a alto

CAPITULO V

INTERFERENCIA Y RUIDO

Este capítulo cubre los problemas relacionados con la interferencia y el ruido. **Ninguna** otra área de la localización de fallas produce tantas dificultades como ésta para el técnico y es tan difícil de localizar y corregir. Una razón de la dificultad estriba en que la fuente del ruido o de la interferencia puede ser externa al dispositivo que se está probando y puede no presentarse en el área de prueba y reparación, es decir, sólo se presenta en el área donde se usa el equipo, además la fuente puede ser intermitente. Todo esto se suma y origina una tarea difícil

Para el propósito de este capítulo, clasificaremos los problemas del ruido y de la interferencia como **INTERNOS Y EXTERNOS**, puesto que existen diferencias en los procedimientos para identificarlos. El ruido o interferencia **INTERNA** se produce cuando su fuente de origen está dentro del instrumento. Puede ser causada por:

1. Falla de origen electrónico. Muchos tipos de fallas en los componentes electrónicos pueden producir grandes cantidades de ruido en un circuito. Por ejemplo: Resistores de película, recuerde lo descrito en el capítulo anterior sobre sus formas de fallar. Capacitores de papel, de cerámica o de mica. El polvo o cualquier otro material extraño debajo del contacto deslizante de un resistor variable. Semiconductores. En algunos instrumentos se emplea deliberadamente una unión de semiconductor como fuente de ruido. Los circuitos integrados lineales, en ocasiones, producen lo que se denomina **ruido de disparo o de roseta de maíz** ("palomitas", **POPCORN**, en inglés). Los conectores envejecen, se corroen, acumulan polvo y basura y pierden presión de contacto. Los interruptores sufren los mismos problemas que los conectores.

2. Fallas de origen mecánico. La interferencia o ruido puede generarse en alambres o conexiones rotas o sueltas; en tuercas o tornillos sueltos. Esto es particularmente cierto, si además hay pequeñas diferencias de potencial entre dos partes del instrumento o si existe fricción entre las dos partes.

Por electricidad estática generada por conexiones sueltas o por la fricción entre dos materiales no similares.

Por terminales de suministro de energía o de señal mal colocadas. En general, las terminales de en-

trada de la señal deben mantenerse separadas de otras terminales eléctricas, y las terminales de señales de bajo nivel (voltaje) deben mantenerse separadas de las de alto nivel

Por el polvo o puntos agudos en un circuito de alto voltaje que producen descarga eléctrica, lo que se conoce como "efecto corona".

Por los paneles o cubiertas sin conexión a tierra o con el cable de conexión roto.

Localice la fuente interna de la interferencia o del ruido y corrija el problema. Esto se dice más fácil de lo que se hace.

Si se desconoce la fuente dentro del instrumento, el mejor camino es revisar todo el instrumento cuidadosamente, apretando todos los tornillos o conexiones sueltas.

Mueva los cables, conexiones, tarjetas de circuito, etcétera, y dé pequeños golpes en el panel, observando la presencia del ruido. Tenga cuidado de no jalar demasiado o de golpear demasiado fuerte, puede causar más problemas que los que soluciona.

Limpie bien su instrumento, eliminando todo el polvo o basura. Preste especial atención a las áreas de alto voltaje.

Inspeccione y limpie cuidadosamente y observe el funcionamiento de cualquier interruptor, o de los contactos de relé, que accionan voltaje elevado.

Observe cuidadosamente el ruido o la interferencia en un osciloscopio. Trate de definir las características de la señal no deseada.

a. ¿Está relacionada en frecuencia, repetición, período, o en cualquier otra forma, con una señal legítima generada dentro del instrumento?

b. ¿Tiene el instrumento una fuente de poder del tipo de conmutación o un regulador?

c. ¿Está relacionado el ruido o la interferencia con la frecuencia de cambio?

d. ¿Está relacionado el ruido o la interferencia con cualquier señal familiar, tales como la frecuencia de la línea de suministro de voltaje, el doble de dicha frecuencia, el desplazamiento vertical u horizontal de un explorador de tubo de rayos catódicos (CRT, por sus siglas en inglés), etcétera?

Vea si puede aislar (circunscribir) la fuente de la interferencia en una función, sección o circuito del aparato.

Si el ruido se presenta en la línea de distribución de energía, revise cuidadosamente los capacitores de la fuente de poder. Debe haber un capacitor de cerámica u otro de buenas características de frecuencia elevada en paralelo con el electrolítico de filtro principal, ya que los electrolíticos se vuelven inductores a frecuencias por arriba de unos cuantos cientos de kilohertzios.

Revise cuidadosamente los capacitores de paso en cualquier circuito que genere señales de alta frecuencia o de amplitud elevada.

Compruebe si es correcta su conexión a tierra física. Revise si no hay varias conexiones a tierra en varios sitios de manera que se establezcan polos de diferencia de potencial

El ruido o interferencia **EXTERNA** es aquella que se presenta cuando su fuente u origen es externa al instrumento que se está probando. La fuente externa podría ser:

- Interferencia o ruido conducido por las líneas de transmisión.
- Interferencia o ruido radiado a través del aire.
- Interferencia o ruido debido a campos eléctricos o magnéticos variantes alrededor del instrumento.
- Interferencia o ruido producido por otros instrumentos cercanos.

Se pueden eliminar los problemas causados por la interferencia externa mediante tres técnicas generales.

1. Modifique los dispositivos sensibles, haciéndolos menos sensibles a las interferencias. Esto se puede lograr mediante un aislante, un filtro, o conectándolo a tierra.

2. Modifique la fuente de la interferencia para reducir la cantidad de interferencia generada o transmitida. Esto se hace mediante aislante, filtro, o conectándolo a tierra. En ocasiones es conveniente cubrirlo con una malla conductora conectada a tierra física (campana de Faraday).

3. Mueva, ya sea la fuente de la interferencia o el dispositivo sensible, a otro lugar donde ya no ocurra el problema.

La interferencia o ruido puede ser causado también al conectar dos o más instrumentos juntos. La razón más común es el flujo de corriente en el circuito cerrado a tierra. Estos ocurren cuando se conectan dos o más instrumentos juntos, de tal manera que haya más de una conexión a tierra. Las conexiones múltiples forman un circuito cerrado a través del cual fluye la corriente, si existe diferencia de potencial entre los puntos del circuito. Por esto es importante que se identifiquen los polos de los conectores y que todos los aparatos tengan la misma orientación, un polo a tierra igual para todos los aparatos. No debe confundirse esto con las conexiones a tierra física.

Puesto que la resistencia alrededor de un circuito cerrado a tierra es muy pequeña, se requieren sólo pequeñas diferencias de potencial para hacer que fluyan corrientes elevadas. Estas corrientes generan campos magnéticos que originan la interferencia.

Muchas veces no se pueden eliminar todos estos circuitos cerrados a tierra. En realidad el problema no es su existencia, sino el hecho de que fluya corriente a través de ellos.

Si se reduce la corriente en un circuito cerrado a tierra, también se reduce la interferencia. Muchas veces es posible insertar un resistor de bajo valor (15 a 50 ohmios) en el circuito. Esto, generalmente, reduce la corriente, de tal manera que no se presenta la interferencia, ya que se ha reducido el campo magnético. Este tipo de problemas se genera, muy a menudo, al "alargar" el cable de entrada de corriente de uno de los aparatos, o bien al usar las "extensiones" inadecuadas, que además son fuentes potenciales de riesgos (vea el Módulo Especial, referente a Seguridad en el Trabajo).

Los apéndices A, B y C le proporcionan información más detallada sobre cómo resolver los problemas causados por interferencia y ruido.

APENDICE A

CAPITULO V

COMPRESION DEL RUIDO TIPO INTERFERENCIA¹

Cómo manejar el ruido sin usar magia negra.

Existen explicaciones racionales -y soluciones- para los problemas causados por el ruido.

Si su circuito no trabaja, agregue un capacitor desacoplador en cualquier lugar -desde luego de disco de cerámica de $0.01 \mu\text{F}$. ¡Estos resuelven todos los problemas! O cuando su sistema está transmitiendo su ruido, ¡un blindaje va a curarlo!; simplemente amarre un pedazo de metal alrededor del circuito, conecte el blindaje a tierra, y vea ¡como desaparece el ruido! (Métalo en una campana de Faraday).

Desafortunadamente, la Naturaleza no es tan gentil con nosotros en la vida real. Este capacitor de disco de $0.01 \mu\text{F}$ que agregó, sólo aumentó el ruido, y el blindaje que agregó fue totalmente inefectivo -o, peor aún, el ruido reapareció en una parte remota del circuito.

Este artículo tratará de ayudarle a comprender y manejar eficientemente el ruido causado por interferencia en los sistemas electrónicos. Consideraremos aquí el mecanismo que hace que se capte el ruido, puesto que el primer paso para resolver cualquier problema de ruido es identificar la fuente del ruido y el mecanismo acoplador/captador, sólo entonces puede instrumentarse una solución efectiva.

En el Apéndice B se sugieren técnicas específicas y lineamientos para el blindaje efectivo contra el ruido electrostático y magnético.

¿De qué tipo de ruido estamos hablando?

Cualquier sistema electrónico contiene muchas fuentes de ruido. Las tres formas básicas de aparición son: **ruido transmitido**, el cual se recibe con la señal original y no puede distinguirse de ella; **intrínseco** (tales como el ruido Johnson, generado térmicamente, ruido de disparo, y ruido de roseta de maíz), el cual se origina dentro de los dispositivos que constituyen el circuito, y **ruido de interferencia**, que se capta de fuera del circuito. Este último puede

ser debido a fenómenos naturales (por ejemplo, tormentas eléctricas) o se puede acoplar al equipo proveniente de otros aparatos eléctricos en el sistema o en las cercanías; por ejemplo, aparatos de rayos X, motores de alto voltaje o de alta energía, las computadoras, fuentes de poder de conmutación, calentadores controlados por SCR, radio transmisores, contactos de los interruptores, etcétera.

Este apéndice tratará el ruido o interferencia que, generalmente, es producido por el ser humano. Este ruido es el que más frecuentemente invade, creando fuertes problemas, los sistemas de recolección de datos o de prueba, como electrocardiógrafos, electroencefalógrafos. Aunque es más molesto en los circuitos de bajo nivel, ninguna parte del sistema es inmune a él. Pero es la única forma de ruido que puede ser influenciada por la selección del cableado y del blindaje.

Suposiciones y procedimientos de análisis

Aunque las ecuaciones de Maxwell -con toda la agonía de las matemáticas que implican- son necesarias para una descripción completa y exacta de cómo se comportan los sistemas eléctricos, el análisis convencional del circuito es un procedimiento útil en la mayoría de los casos. Las suposiciones que permiten que el análisis del circuito sea válido para resolver estos problemas son:

1. Todos los campos eléctricos se confinan al interior de los capacitores.
2. Todos los campos magnéticos se confinan a la vecindad inmediata de los inductores.
3. Las dimensiones del circuito son pequeñas en comparación a las longitudes de onda consideradas.

Usando estas suposiciones podemos hacer modelos con acoplamiento de elementos que generen ruido como si fuesen elementos de un circuito.

¹ Traducción de: "Understanding Interference-type noise" Alan Rich, Analog Dialogue 16-3, 1982, reproducido con permiso de Analog Devices, Inc., con adaptaciones al medio latinoamericano.

Un campo magnético por acoplamiento de dos conductores hace un modelo de inductancia mutua. La capacitancia dispersa puede modelarse con dos conductores con un campo eléctrico entre ellos. La figura 1 muestra un circuito equivalente de una situación en la cual dos alambres cortos se encuentran adyacentes, uno al otro, con un sistema de tierra.

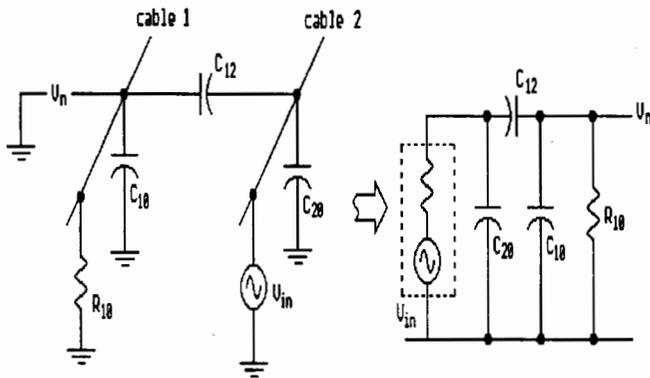


Figura V(A)-1. Circuito equivalente de ruido de dos alambres adyacentes y un plano de tierra

Una vez que se obtiene el circuito equivalente completo del ruido para un sistema, el problema se convierte en resolver ecuaciones de redes para un parámetro específico. Pueden aplicarse todas las técnicas estándares de análisis de circuitos, incluyendo ecuaciones de nodo, ecuaciones de malla, álgebra de matrices, variables de estado, superposición, transformaciones de Laplace, etcétera. Cuando los circuitos exceden 5 a 6 nodos, los cálculos manuales se hacen difíciles, en este punto, se requiere del uso de programas de computación, tal como SPICE, y otras técnicas de CAD. (Computer-aided design. Programas para hacer proyectos o circuitos en computadora.) Los diseñadores experimentados pueden hacer suposiciones simplificadoras apropiadas, pero su validez debe quedar siempre en tela de juicio hasta que no sean probadas.

El enfoque de acoplar elementos en un circuito equivalente no siempre dará una respuesta numérica exacta, pero sí demostrará cómo el ruido depende claramente de los parámetros del sistema. El simple

hecho de trazar un circuito equivalente razonablemente fiel puede ofrecer datos para reducir el nivel de ruido. Una vez que se hayan hecho las ecuaciones de redes o los programas CAD, podrán estudiarse los efectos cuantitativos de las técnicas de supresión de ruido.

A pesar de todos los avances técnicos modernos, tales como los microprocesadores y las fuentes de poder de conmutación, los alambres siguen teniendo resistencia e inductancia, la capacitancia aún existe en la vida real, y éstos son los fenómenos a los cuales nos enfrentamos.

El principio básico

Siempre hay tres elementos involucrados en un problema de ruido: **una fuente de ruido** (transitorios de las líneas de fuerza, relés, campos magnéticos, etcétera) **un proceso acoplador** (capacitancia, inductancia mutua, alambres), y **un receptor**, es decir un circuito que es susceptible al ruido (Fig. 2).

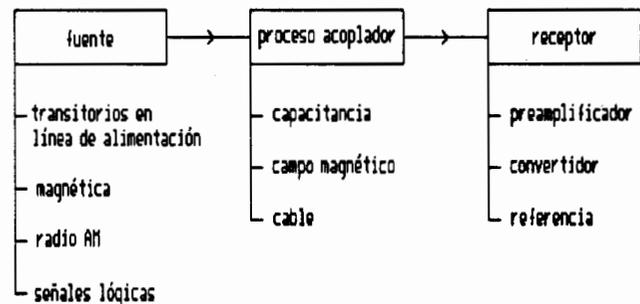


Figura V(A)-2. La captación de ruido siempre involucra una fuente, un proceso acoplador y un receptor

Para resolver el problema, uno o más de estos tres elementos debe ser eliminado, reducido o desviado. Su participación en el problema debe comprenderse totalmente antes de que el problema pueda resolverse. Si la solución es inadecuada, puede inclusive empeorar el problema del ruido. Los diferentes problemas de ruido requieren diferentes soluciones,

agregar un capacitor o un blindaje no resolverá cada uno de dichos problemas.

La nomenclatura¹ para este apéndice y el siguiente está definida en la siguiente forma:

CA	Corriente Alterna
CD	Corriente Directa
CAD	Convertidor Analógico Digital
C_d	Capacitancia Dispersa
C_{sc}	Capacitancia del blindaje al conductor (shield to conductor capacitance)
C_{ws}	Capacitancia del blindaje al conductor central del cable blindado
i_n	Corriente de ruido
R_L	Resistencia de la carga
R_o	Impedancia de la fuente de la señal
V_G	Voltaje de tierra
V_n	Voltaje de ruido
V_{no}	Voltaje del ruido de salida
V_s	Voltaje del blindaje
$V_{señal}$	Voltaje de la señal

Tipos de ruido en un sistema

El ruido en cualquier sistema electrónico se puede originar en una gran variedad de fuentes, incluyendo las computadoras, ventiladores, fuentes de poder, equipos circunvecinos, dispositivos de prueba; las fuentes de ruido pueden inclusive incluir blindajes inadecuadamente conectados, y cables a tierra cuya intención era disminuir el ruido. Nuestra discusión sobre las fuentes de ruido y los mecanismos acopladores incluirá los siguientes tópicos:

- Ruido por impedancia común
- Ruido acoplado capacitivamente
- Ruido acoplado magnéticamente
- Transitorios en líneas de alimentación.
- Fuentes diversas de ruido.

Ruido por impedancia común. Tal como lo implica su nombre, el ruido por impedancia común se desarrolla por una impedancia que es similar en varios circuitos. La figura 3 muestra la configuración bási-

ca, que puede ocurrir cuando una fuente de salida de pulso y una terminal de referencia de un amplificador operacional están ambos conectados a un punto de "tierra", que tiene una impedancia común a la terminal de retorno de la fuente de poder. La corriente de ruido (la corriente ruidosa de retorno del circuito 1) desarrollará un voltaje, V_n , a través de la impedancia Z , el cual aparecerá como una señal de ruido en el circuito 2.

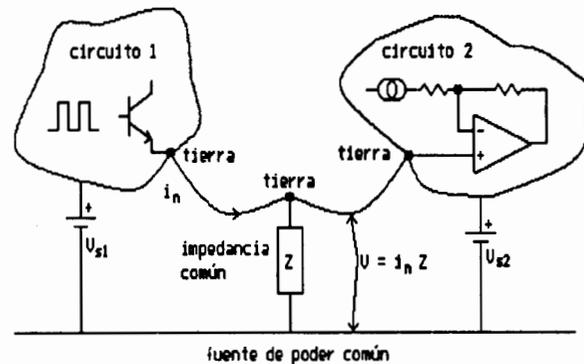


Figura V(A)-3. Ilustración de cómo se desarrolla el ruido donde se acople una impedancia común.

En forma característica, este tipo de ruido tiene una frecuencia de repetición determinada por la frecuencia de los pulsos de la fuente que genera el ruido. La forma de onda es determinada por las características de la impedancia, Z . Por ejemplo, si Z es puramente resistiva, el voltaje del ruido va a ser proporcional a la corriente del ruido y de configuración similar (Fig. 4a). Si Z es un arreglo R-L-C, el voltaje del ruido tendrá una frecuencia de $1/(2\pi\sqrt{LC})$ y decaerá exponencialmente a una tasa determinada por L/R (b).

Si se encuentra ruido de este tipo en un circuito, su origen puede deducirse fácilmente a partir de la tasa de repetición y de la forma de onda. La **tasa de repetición** nos indicará la fuente del ruido, puesto que el ruido y su fuente están sincronizados. Por ejemplo, una forma de onda de ruido como la que se muestra en (c), a una frecuencia de repetición de 25 kHz y un factor de utilización de 25% podría ser característico de una fuente de poder de conmutación que contenga un circuito regulador que emplea modulación del ancho de pulso.

1 En la mayoría de las abreviaturas se conservaron las letras del idioma inglés debido a su frecuente uso.

La forma de onda va a ayudar a identificar la impedancia involucrada en la generación del ruido in-

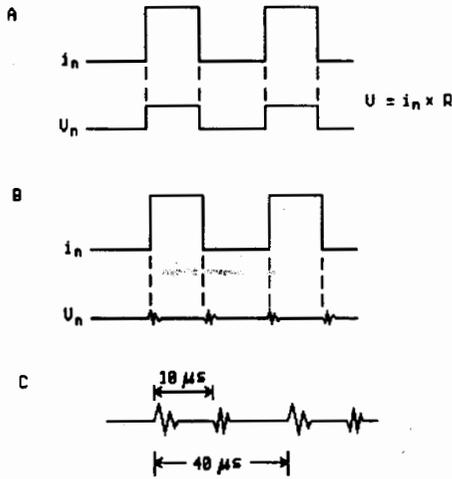


Figura V(A)-4. Ruido en sistemas con impedancia común. (a) Resistiva, (b) Un circuito R-L-C. (c) En una fuente de poder de conmutación.

deseable. Si por ejemplo, la forma de onda del ruido es simplemente la onda sinusoidal amortiguada que se muestra en la Fig. 5, los siguientes puntos permiten deducir la naturaleza de Z.

- Una resistencia constante, R, está en serie con la línea de suministro. El cambio de voltaje, V_1 , es el producto de R y un escalón de la corriente, I_1 .
- La frecuencia natural de la oscilación, f_1 , está determinada por la inductancia en serie L, y la capacitancia en paralelo C.
 $f = 1/(2\pi \sqrt{LC})$.
- La constante de amortiguación de tiempo, t, está determinada por L/R

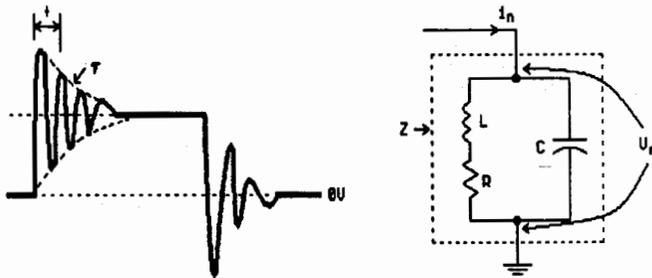


Figura V(A)-5. Forma de onda para un circuito R-L-C subamortiguado.

Ruido acoplado capacitivamente. También se produce ruido por acoplamiento capacitivo de una

fuentes a otro circuito. Este tipo de ruido se ve a menudo cuando señales con tiempos muy cortos de elevación y caída o de elevada frecuencia se encuentran muy próximas a circuitos de alta impedancia. La capacitancia dispersa produce acoplamiento entre los bordes rápidos de la señal con los circuitos adyacentes, tal como lo muestra el circuito modelo de la Fig. 6. La naturaleza de la impedancia, Z, determina la forma de la respuesta. Las capacitancias típicas se enlistan en el cuadro I.

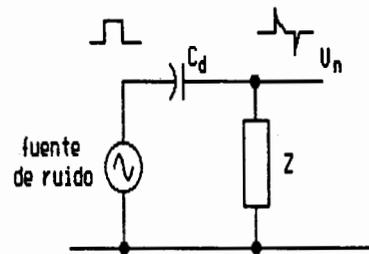


Figura V(A)-6. La capacitancia dispersa produce acoplamiento en los circuitos de elevada impedancia.

Cuadro V(A)-I. Capacitancias características

Condición	Capacitancia
Ser humano parado sobre un aislante de la tierra	700pF
Entrada de (CA) a la salida (CD) de una fuente de 15 V (CD)	100 pF
Cable blindado de dos conductores:	
Conductor a conductor	40 pF/30.5 cm(1 pie)
Conductor a blindaje	65 pF/30.5 cm(1 pie)
Cable coaxial RG58, conductor central a blindaje	
	33 pF/30.5 cm(1 pie)
Conector, punta a punta	2 pF
Aislante óptico, LED al fotodetector	2 pF
Resistor de 1/2-watio (extremo a extremo)	1.5 pF

La inducción capacitiva que genera ruido puede ocurrir de muchas maneras, configuraciones y ta-

maños. A continuación presentamos algunos ejemplos.

- Una señal digital TTL produce bordes rápidos, con un tiempo de ascenso típico de 10 nanosegundos y variaciones de voltaje de 5 voltios. Si Z es un resistor de 1 megaohmio, inclusive una capacitancia de 0.1 pF producirá espigas de 5 voltios con constantes de tiempo de caída de 100 nanosegundos.
- Puede ocurrir interferencia cruzada (diafonía) entre dos alambres adyacentes. Por ejemplo, si dos alambres en un cable de 3 metros de longitud tienen una capacitancia de 40 pF/30.5 cm, la capacitancia total es de 400 pF. Si existe un voltaje de prueba de 10 V a 1 kHz en un conductor, se acoplarán 250 mV a 1 kHz en el alambre adyacente si Z es una resistencia de 10 kΩ.
- Ruido en la línea de alimentación de CA, que se desarrolla por impedancias comunes, se acoplará hacia otros circuitos. Un caso común es cuando los transitorios se acoplan a través de la capacitancia del devanado de los transformadores de fuentes de poder.

Es sorprendente la poca capacitancia que se requiere para producir problemas serios. Por ejemplo, considere la situación en la cual se emplea lógica CMOS (MOS, semiconductor óxido-metálico;

CMOS, MOS complementario) de elevada inmunidad al ruido en un circuito industrial, donde se presentan transitorios de ruido de 2,500 voltios, 1.5 MHz (Especificación IEEE 472,1974). Suponga que existe una capacitancia dispersa de tan sólo 0.1 pF entre la entrada CMOS y la fuente del ruido, tal como se muestra en la figura 7. El voltaje de ruido calculado, V_c , será de 2.4 voltios, estado estable, con un transitorio inicial de 50 V, lo cual producirá un funcionamiento lógico inadecuado, o incompletamente erróneo!

Ruido acoplado magnéticamente. Existen campos magnéticos poderosos alrededor de los cables que pasan corriente, donde se distribuye el suministro de CA, cerca de las maquinarias, los transformadores de potencia, ventiladores, etcétera. Existe una relación análoga entre los circuitos acoplados magnéticamente y aquéllos acoplados capacitivamente, tal como se muestra en la Fig. 8 y el cuadro II.

Esta analogía ayuda a considerar algunas diferencias entre el ruido acoplado capacitivamente y el acoplado magnéticamente:

- Cuando el ruido es acoplado magnéticamente, el voltaje de ruido (V_n) aparece en serie con el circuito receptor; en la situación capacitiva, el voltaje del ruido producido entre el receptor

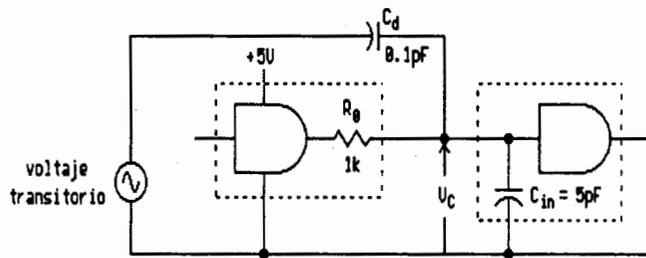


Figura V(A)-7. Acoplamiento de transitorios de alto voltaje provenientes de un generador de prueba hacia un circuito lógico.

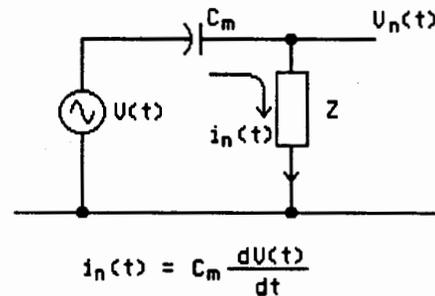


Figura V(A)-8. Comparación entre el acoplamiento magnético y capacitivo del ruido.

Cuadro V(A)-II. Comparación entre el acoplamiento capacitivo y el magnético

	Acoplamiento capacitivo	Magnético
Fuente del ruido	Cambio de voltaje (dv/dt)	Cambio de Corriente (dI/dt)
Proceso acoplador	Capacitancia mutua	Inductancia mutua
Ruido acoplado	Corriente (frecuentemente convertida a voltaje por Z)	Voltaje

y tierra es el voltaje en Z causado por la corriente de ruido, i_n .

- Al reducir la impedancia del receptor, Z , reducirá el ruido acoplado capacitivamente. Esto no ocurre en los circuitos acoplados magnéticamente, si se reduce Z no se reduce drásticamente el voltaje del ruido.

El voltaje, V_n , inducido en una malla cerrada (una sola vuelta) por un campo magnético está dado por:

$$V_n = 2\pi fBA \cos\theta \times 10^{-8} \text{ voltios} \quad (1)$$

donde f es la frecuencia de la densidad de flujo que varía sinusoidalmente, B es el valor rms de la densidad del flujo (gaussio), A es el área de la malla cerrada (cm^2), y θ es el ángulo de B al área A .

Por ejemplo, considere el circuito de la figura 9. Muestra el cálculo para dos conductores de 30.5 cm (1 pie), separados por 2.54 cm (1 pulgada) en un campo magnético de 10 gaussios 60 Hz (característico de los ventiladores, cableado de líneas de suministro de energía, transformadores). El voltaje máximo inducido en los alambres es de 3 mV.

La ecuación nos dice que el voltaje del ruido puede ser reducido si se reduce B , A , o $\cos\theta$. El término B puede reducirse aumentando la distancia de ori-

$$V_n = (2\pi \times 60)(10)(12 \times 2.54)(1 \times 2.54)10^{-8} \text{ para } \theta = 0^\circ$$

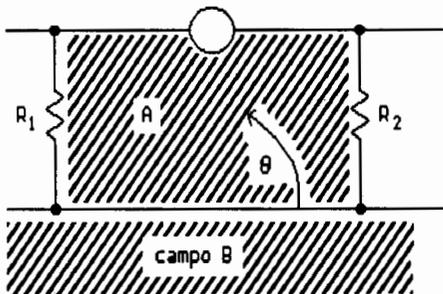


Figura V(A)-9. Ejemplo que demuestra la magnitud de la captación magnética

gen del campo -o si el campo es causado por corriente que fluye por pares de alambres cercanos, enrollando esos alambres para reducir el campo neto a cero haciendo alternar su dirección.

El área de la malla, A , puede reducirse colocando los conductores más próximos entre sí. Por ejemplo, si los conductores en el ejemplo se colocaran con una separación de 2.54 mm (0.1") (separados tan sólo por el aislante), el voltaje del ruido se reduciría a 0.3 mV. Si pueden enrollarse juntos, el área se reduce,

en efecto, a pequeños aumentos positivos y negativos que cancelan, prácticamente nulifican, la captación magnética.

El término $\cos\theta$ puede reducirse orientando adecuadamente los alambres receptores hacia el campo. Por ejemplo, si los conductores estuviesen perpendiculares al campo, la captación sería mínima, mientras que si se llevan juntos en el mismo cable ($\theta = 0$), la captación sería máxima.

El voltaje rms inducido, V_n , en un conductor en paralelo con un segundo conductor que lleva una corriente I a una frecuencia angular de $\omega = 2\pi F$, con una inductancia mutua dada, M , es:

$$V_n = \omega MI \quad (2)$$

La aplicación de esta relación que se muestra en la Fig. 10 demuestra por qué solamente un extremo del blindaje debe ser conectado a tierra. Se emplea un cable blindado de 30.5 metros (100 pies) para llevar una señal de alto-nivel, baja impedancia (10 V), a un sistema de adquisición de datos de 12 bits (1 LSB = 2.4 mV)(LSB = Bit o dígito menos significativo).

El blindaje, que tiene resistencia en serie de 0.01 ohmios por 30.5 cm (1 pie) y una inductancia mutua al conductor de 0.6 H/30.5 cm (1 pie), ha sido conec-

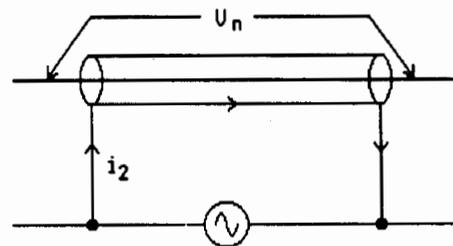


Figura V(A)-10. Captación magnética de corriente que fluye por un cable blindado.

tado a tierra tanto en su punto de origen como en el de destino. Existe un potencial de 1 voltio a 60 Hz entre los puntos conectados a tierra, haciendo que fluya una corriente de 1 amperio en la resistencia total de 1 ohmio del blindaje. De acuerdo con (2) el voltaje del ruido inducido en el conductor es:

$$V_n = (2\pi 60 \text{ Hz})(100 \times 0.6 \times 10^{-6} \text{ H})(1 \text{ A}) \\ = 23 \text{ mV}$$

ó 10 LSBs, con lo cual se reduce la resolución efectiva del sistema a menos de 9 bits. Este voltaje de ruido es una consecuencia directa de la corriente elevada que fluye por el blindaje debido a que está conectado a tierra en ambos extremos. ¡El potencial de 1 V que se supuso que existía entre las tierras fue muy conservador! En ambientes de industria pesada, son comunes potenciales de 10 a 50 voltios entre tierras.

Transitorios de líneas de alimentación. Otra forma de ruido en un sistema es aquel que se origina por transitorios de alto voltaje en circuitos inductivos, tales como los relés, solenoides y motores al momento de encendido y apagado. Cuando se apagan dispositivos que tienen una auto-inductancia elevada, los campos colapsantes pueden generar transitorios hasta del orden de kilovoltios, con frecuencias de 0.1 a 3 megahertzios, que aparecen en la línea de suministro de energía.

Además de crear ruido en los circuitos sensibles, a través de acoplamiento capacitivo e inductivo y por energía radiada, estos transitorios son dañinos para el equipo y para las personas. Existen normas para caracterizar ciertas formas de ondas de los transitorios con el propósito de brindar protección; sin em-

les. La figura 11 muestra 4 formas características de ondas que existen en las normas industriales.

Diversas fuentes de ruido. Existe un grupo de fuentes de ruido que puede considerarse como misceláneo.

Para señales de bajo nivel a impedancia elevada, el cable mismo puede convertirse en una fuente de ruido. Puede producirse una carga en el material dieléctrico dentro del cable; si el dieléctrico no mantiene el contacto con los conductores, esta carga va a actuar como una fuente de ruido dentro del cable, a menos que el cable se mantenga rígido. Este ruido depende estrechamente de cualquier movimiento del cable; la Corporación Belden ha informado de niveles de ruido de 5 a 100 mV. En el laboratorio observamos ruido de características similares (5 a 25 mV) para cable coaxial RG188 al moverlo y flexionarlo. Un ejemplo de este tipo de inducción de ruido lo podemos observar al mover el cable de las largas conexiones en algunos electroencefalógrafos.

Otro tipo de ruido relacionado con el movimiento ocurre cuando se mueve un cable a través de un campo magnético. Se inducirá voltaje en el cable a medida que éste corte líneas de flujo fijas o varíe la densidad de flujo, B . Este tipo de ruido es problemático en un ambiente de elevada vibración, donde los cables pueden estar sujetos a movimientos rápidos. Si se puede evitar que el cable vibre en dirección del campo, este ruido no va a ocurrir.

Finalmente, si el instrumento está funcionando en proximidad de una estación de radio o de televisión, pueden captarse señales de la transmisión. Además de las transmisiones de AM, FM o de televisión, la interferencia RF (Radio Frecuencia) puede provenir de radios de banda civil (CB, por sus siglas en inglés), de radio aficionados, "walkie-talkies", sistemas de localización de personas, etcétera. El ruido de alta frecuencia debe ser considerado como una fuente posible de desviaciones misteriosas en circuitos de CD, debido a la rectificación de las ondas de RF captadas; la investigación de la desviación siempre deberá hacerse con un osciloscopio de banda ancha. Estos conocimientos le permitirán al técnico en las instituciones de atención a la salud indicar los lugares apropiados para colocar los equipos de electrodiagnóstico, tales como electrocardiógrafos, electromiógrafos, electroneumógrafos, monitores de signos vitales, etcétera.

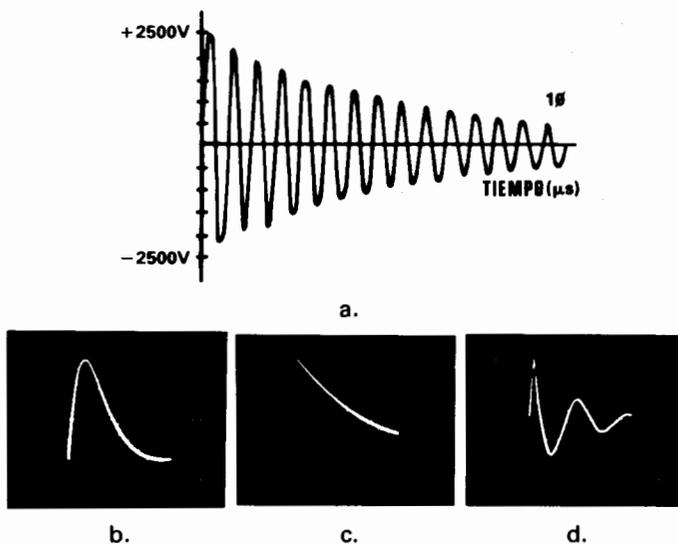


Figura V(A)-11. Ejemplos de transitorios existentes en las normas para la industria de equipo de suministro de potencia. (a) Norma IEEE 472.1974, "Guide for Surge Withstand Capability". (b) Onda de impulso, 8×20 , 1000 V pico, 5 ms/div. (c) Onda de impulso, 10×1000 , 1500 V pico, 0.2 ms/div. (d) 100 kHz sobretensión momentánea de CA, 6 kV pico (500 kHz borde ascendente); picos sucesivos con caída de 40% (1 kV/div, 2 ms/div).

bargo, los sistemas, además de estar diseñados para tolerarlos, deberían también estar diseñados para contrarrestar su interferencia potencial en las seña-

RESUMEN

Hemos descrito los diferentes tipos de ruido que pueden existir en cualquier sistema electrónico. El cuadro III enlista las fuentes de ruido discutidas con anterioridad y algunos enfoques efectivos para resolver el problema de captación. Es importante entender todo el sistema de ruido (fuente, proceso acoplador, receptor, y sus interrelaciones) antes de emplear técnicas de reducción de ruido.

La reducción de ruido no es un trabajo místico para magos; es un trabajo práctico y analítico para los ingenieros y técnicos con alta motivación. No necesitamos hacer énfasis en que el enfoque más efectivo es la prevención -aplicar análisis de reducción de ruido y técnicas para minimizarlo antes de que el equipo se construya; o se instale en la institución.

En el siguiente apéndice (B) se describirá la aplicación adecuada de las técnicas de blindaje y protección (guarda) para reducir el ruido.

CUADRO V(A)-III. FUENTES DE RUIDO Y SOLUCIONES POSIBLES**Ruido de impedancia común**

Circuitos apropiados para distribución de CA.
Transformadores de aislamiento, aisladores ópticos, analógicos.

Blindaje de circuitos sensibles.

Ruido acoplado capacitivamente

Reducir fuentes de ruido.

Blindajes instrumentados adecuadamente (muy efectivos).

Reducir capacitancia dispersa.

Ruido acoplado magnéticamente

Guiar cuidadosamente los alambres.

Blindajes de alta-permeabilidad (metal μ^1 , los más efectivos).

Reducir el área del circuito receptor (enrollando los pares de conductores, colocación física de los alambres).

Reducir la fuente de ruido (pares enrollados, blindajes con voltaje controlado -impulsados- para cancelar el campo).

Transitorios de las líneas de suministro de fuerza

Supresión de bobinas en los relés, solenoides, etcétera.

Apagado de cruzamiento en cero para relés, solenoides, etcétera. Blindaje.

Reducir capacitancia dispersa.

Ruidos de diverso origen

Cables rígidos.

Cables de bajo ruido.

Blindaje contra interferencia de RF.

Por último, no olvide el dicho: "aprender las mil quinientas formas de poner y quitar tierras que no funcionan".

1 Aleación patentada de níquel-fierro-cobre que tiene la más alta permeabilidad con respecto a los demás materiales comerciales.

APENDICE B

CAPITULO V

BLINDAJE Y PROTECCION (GUARDA)¹

¿Cómo eliminar el ruido tipo interferencia? ¿Qué hacer y Por qué? Un enfoque racional

Este es el segundo de los apéndices que tratan sobre el ruido causado por interferencia. En el apéndice anterior discutimos la naturaleza de la interferencia, describimos las relaciones entre las diversas fuentes de origen del ruido, los procesos de acoplamiento y los receptores, y consideramos los medios para combatir la interferencia en los sistemas electrónicos, al reducir o eliminar cualquiera de estos tres últimos elementos.

Una de las formas para reducir el acoplamiento de ruido es el uso de **blindaje**. Nuestro propósito en este apéndice es describir los usos correctos del blindaje para reducir el ruido. Los temas principales que discutiremos incluyen el ruido debido al acoplamiento capacitivo, ruido debido a acoplamiento magnético, y los blindajes y protección con carga mediante voltajes controlados en forma automática (retroacción/feed-back) o manual (guardas). Incluiremos una serie de lineamientos, así como datos sobre lo que se debe hacer y lo que no se debe hacer.

Desde el principio, usted debe afrontar los problemas de blindajes con base en acciones racionales, disminuir las respuestas de ensayo y error, así como entender que no involucran lo mágico u oculto, aunque no siempre sean totalmente claras y directas, tanto las fuentes de ruido como las soluciones. Es importante primero identificar la fuente del ruido, el proceso acoplador y el receptor. El blindaje o conexión a tierra inadecuada, basada en una identificación deficiente de cualquiera de estos tres elementos, sólo empeora las cosas o puede crear un nuevo problema. Cada problema debe analizarse con cuidado. Recuerde aplicar el procedimiento del ABCDE (¿ya lo olvidó? repase el primer capítulo). Analice los suministros de energía (CA), los equipos o máquinas circunvecinas, incluyendo elevadores,

ventiladores, motores, bombas de agua, etcétera. Analice el tipo de circuito del aparato electrónico en los diferentes módulos o bloques funcionales. Busque la mayor información tanto sobre el medio ambiente que le rodea como sobre el equipo problema. Compare qué cosas pueden generar el ruido, haga un resumen escrito (dicte) y evalúe cuánto conoce del problema y proponga tres posibles soluciones, realice la más viable primero. A continuación analice el procedimiento de blindaje.

Podemos considerar al blindaje como una medida que sirve para dos propósitos. Primero, el blindaje puede usarse para confinar el ruido a una región pequeña; esto evitará que el ruido se extienda y se introduzca a circuitos críticos cercanos. Sin embargo, el problema con estos blindajes es que el ruido capturado por el blindaje puede seguir produciendo problemas si la vía de retorno que toma el ruido no está cuidadosamente planeada e instrumentada con base en la comprensión del sistema de conexión a tierra y haciendo las conexiones correctamente. Segundo, si existe ruido en un sistema, pueden colocarse blindajes alrededor de circuitos críticos para evitar que el ruido penetre en las porciones sensibles de los circuitos. Estos blindajes pueden consistir en cajas metálicas alrededor de regiones de los circuitos o de cables con blindajes alrededor de los conductores centrales. De nuevo, dónde y cómo se conectan los blindajes es importante. Esto es tan importante en la electrocardiografía que se presenta específicamente en el Apéndice C.

Ruido acoplado capacitivamente

Si el ruido proviene de un campo eléctrico, el blindaje funciona porque una carga, Q_2 , que resulta de un potencial externo, V_1 , no puede existir en el interior de una superficie conductora cerrada (Fig.1).

1 Traducción de "Shielding and Guarding", Alan Rich, Analog Dialogue 17-1, 1983, reproducido con permiso de Analog Devices, Inc., con adaptaciones al medio latinoamericano.

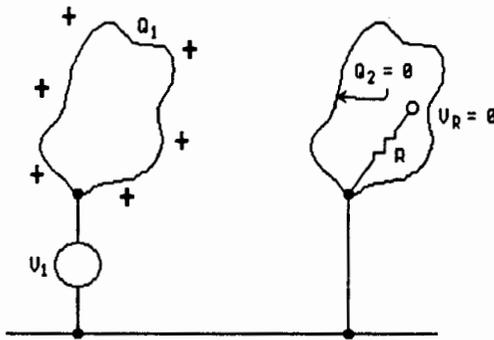


Figura V(B)-1. La carga Q_1 no puede crear una carga dentro de una cubierta metálica cerrada.

El acoplamiento por capacitancia mutua o dispersa puede representarse como un modelo, tal como lo muestra el circuito de la figura 2. Aquí, V_n es una fuente de ruido (transistor de conmutación, compuerta TTL, etcétera), C_d es la capacitancia dispersa, Z es la impedancia de un receptor (por ejemplo, un resistor de paso conectado entre la entrada de un amplificador de ganancia elevada y la tierra) y V_{no} es el voltaje del ruido de salida que se desarrolló a través de Z .

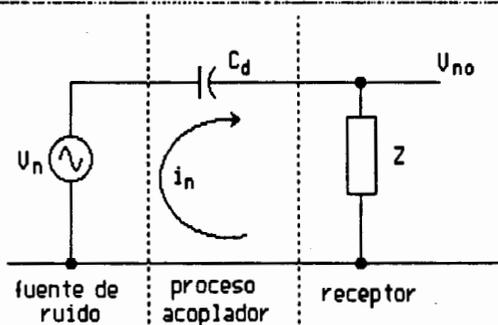


Figura V(B)-2. Circuito equivalente de acoplamiento capacitivo entre una fuente y una impedancia cercana.

Se producirá una corriente de ruido, $i_n = V_n / (Z + Z_{Cd})$, la cual producirá un voltaje de ruido, $V_{no} = V_n / (1 + Z_{Cd}/Z)$. Por ejemplo, si $C_d = 2.5 \text{ pF}$, $Z = 10 \text{ k}\Omega$ (resistivo), y $V_n = 100 \text{ mV}$ a 1.3 MHz , el ruido de salida será de 20 mV (0.2% de 10 V , es decir, 8 LSBs de 12 bits).

Es importante reconocer el efecto que muy pequeñas cantidades de capacitancia dispersa tendrán sobre los circuitos sensibles. Esto se vuelve cada vez más crítico a medida que se diseñan sistemas para

combinar circuitos que operan a menor potencia (lo cual implica menor capacitancia dispersa nodal, pendientes más rápidas y frecuencias más elevadas) y resolución más elevada (se permite mucho menos ruido en la salida).

Cuando se agrega un blindaje, el cambio que se produce en la situación de la Fig. 2 se ejemplifica en el circuito modelo de la Fig. 3. Suponiendo que el blindaje tiene impedancia cero, la corriente de ruido en la malla A-B-D-A será de V_n / Z_{Cd} , pero la corriente de ruido en la malla D-B-C-D será cero, puesto que no hay una fuerza impulsora en esa malla. Y, puesto que no fluye corriente alguna, no se desarrollará voltaje a través de Z . El circuito sensible ha sido, por lo tanto, aislado de la fuente del ruido, V_n .

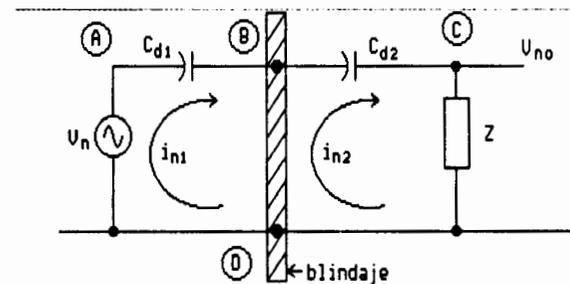


Figura V(B)-3. Circuito equivalente a la situación de la figura 2, con un blindaje interpuesto entre la fuente y la impedancia.

Lineamientos para la aplicación de blindajes electrostáticos

- Para que un blindaje electrostático sea efectivo debe conectarse al potencial de referencia de cualquier circuito contenido dentro del blindaje. Si la señal está conectada a tierra (es decir, conectada al chasis o moldura de metal, y/o a tierra) el blindaje debe estar también conectado a tierra. Pero será inútil conectar a tierra el blindaje, si la señal no tiene referencia a tierra.
- El conductor del blindaje de un cable blindado debe conectarse al potencial de referencia en el nodo de la señal de referencia (Fig. 4).
- Si el blindaje está separado en secciones, como puede ocurrir cuando se emplean conectores, el blindaje de cada segmento debe estar unido a aquéllos de los segmentos adyacentes y debe conectarse el extremo (únicamente) al nodo de la señal de referencia (Fig. 5).

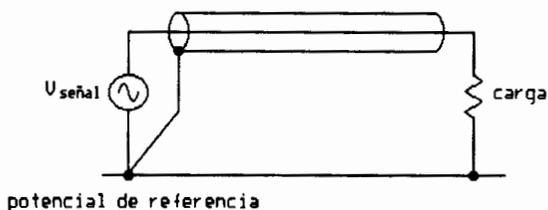


Figura V(B)-4. Conexión a tierra en un extremo del blindaje de un cable.

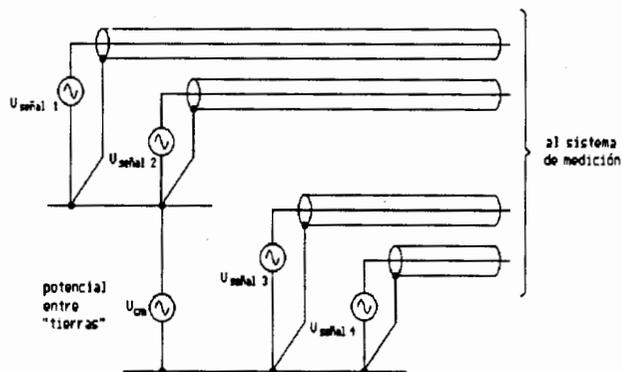


Figura V(B)-6. Cada señal debe tener su propio blindaje conectado a su propio potencial de referencia.

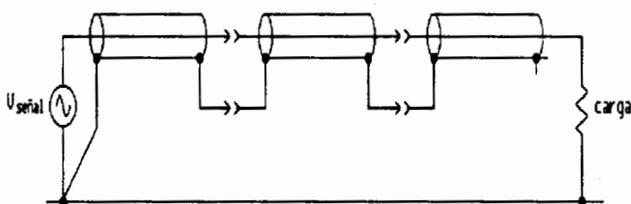


Figura V(B)-5. Los blindajes deben interconectarse si se interrumpen.

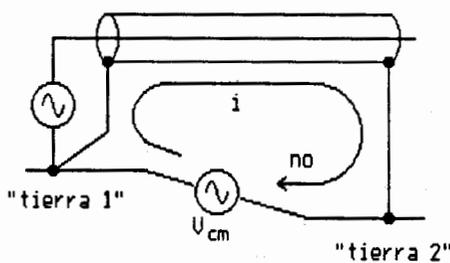


Figura V(B)-7. No conecte el blindaje a tierra en más de un punto.

- El número de los blindajes por separado requeridos en un sistema es igual al número de las señales independientes que se están midiendo. Cada señal debe tener su propio blindaje, sin conexiones a otros blindajes en el sistema, a menos que compartan un potencial de referencia común (señal "tierra"). Si hay más de una señal "tierra" (Fig. 6) cada blindaje debe conectarse a su propio potencial de referencia.
- **No conecte ambos extremos del blindaje a "tierra".** La diferencia de potencial entre las dos "tierras" hace que fluya una corriente en el blindaje (Fig. 7). La corriente del blindaje va a inducir un voltaje de ruido en el conductor central a través de acoplamiento magnético. Un ejemplo de esto puede encontrarse en el apéndice anterior.
- **No permita la existencia de corriente en el blindaje** (excepto en la situación que se descri-

- be más adelante). La corriente del blindaje va a inducir un voltaje en el conductor central.
- **No permita que el blindaje tenga voltaje con respecto al potencial de referencia** (excepto en el caso de un blindaje de protección [guarda] que se describirá más adelante). El voltaje del blindaje se acoplará capacitivamente al conductor central (o conductores en un blindaje multi-conductor). Con un voltaje de ruido, V_n , en el blindaje, se presenta la situación que ilustra la figura 8.

La fracción de V_s que aparece en la salida será:

$$V_o = \frac{V_s}{\sqrt{1 + \frac{1}{(2\pi f R_{eq} C_{sc})^2}}} \quad (1)$$

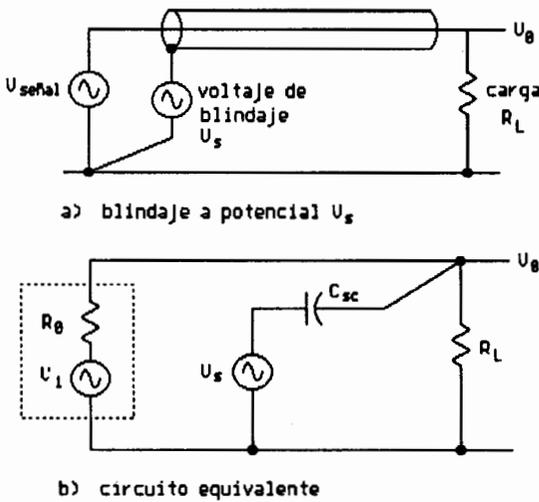


Figura V(B)-8. (a) Se muestra como el blindaje suprime un potencial con respecto a la señal. (b) Se presenta el circuito equivalente.

donde V_1 (en el diagrama del circuito equivalente, Fig. 8b) es el voltaje de la señal de circuito abierto, R_0 es la impedancia de la fuente de la señal, C_{sc} es la capacitancia del blindaje del cable al conductor, y R_{eq} es la resistencia paralela equivalente de R_0 y R_L . Por ejemplo si $V_s = 1$ V a 1.5 MHz, $C_{sc} = 200$ pF [3.05 metros de cable (10 pies)], $R_0 = 1000$ ohmios, y $R = 10$ k Ω , el voltaje del ruido de salida será de 0.86 voltios.

Este es un lineamiento muchas veces ignorado; pueden crearse serios problemas de ruido al aplicar inadvertidamente potenciales indeseables al blindaje.

- Entienda mediante un estudio cuidadoso cómo la corriente de ruido que ha sido capturada por el blindaje regresa a "tierra". Un blindaje que se conecta inadecuadamente puede causar voltajes en el blindaje, puede acoplarse a otros circuitos o acoplarse a otros blindajes. El retorno del blindaje debe ser lo más corto posible para minimizar la inductancia.

A continuación presentamos un ejemplo de los problemas que pueden originarse con respecto a estos dos últimos lineamientos. Considere el sistema de blindaje inadecuadamente diseñado que se muestra en la Fig. 9, en el cual una fuente de voltaje de precisión, V_1 , y una compuerta digital lógica comparten una conexión de blindaje común donde se genera un voltaje V_{cc} . Esta situación puede ocurrir en un sistema grande donde las señales analógicas y digitales se han cableado juntas.

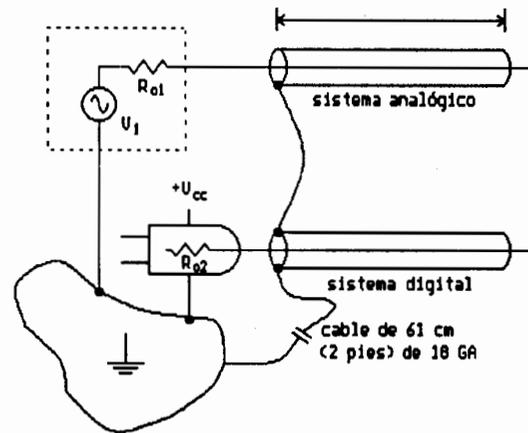


Figura V(B)-9. Una situación que genera voltajes transitorios en el blindaje de cables.

Un cambio escalonado del voltaje en la salida del circuito lógico se acopla capacitivamente a su blindaje, creando una corriente en el retorno común del blindaje de 61 cm (2 pies). Dicha corriente, a su vez, desarrolla un voltaje en el blindaje común tanto al blindaje digital como al analógico. La figura 10 muestra un circuito equivalente, en el cual $V(t)$ es un escalón de 5 voltios de una compuerta lógica TTL, R_{02} es la impedancia de salida de 13 ohmios de la compuerta lógica, C_{ws} es la capacitancia de 470 pF del blindaje al conductor central del cable blindado, y R_s y L_s son la resistencia de 0.1 ohmio y la inductancia de 1 microhenrio del alambre de 61 cm (2 pies) que conecta el blindaje al sistema de tierra.

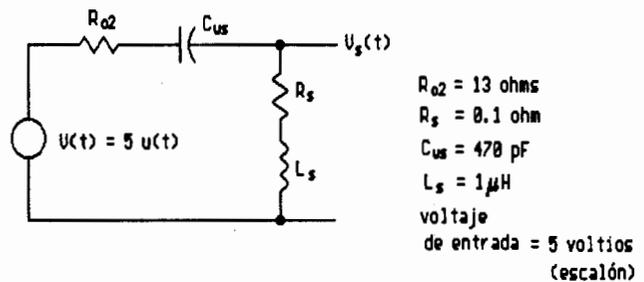


Figura V(B)-10. Circuito equivalente para los voltajes generados en el blindaje.

El voltaje del blindaje, $V_s(t)$ puede resolverse mediante técnicas convencionales de análisis de circuito, o puede simularse construyendo un circuito y haciendo las mediciones en él mismo con los parámetros dados. Para propósitos de demostración, la forma de onda de la respuesta calculada, que se ilustra en la figura 11, con una espiga inicial de 5 voltios,

frecuencia de resonancia de 7.3 MHz, y una constante de amortiguación de tiempo de $0.15 \mu\text{s}$, es suficiente para ilustrar la naturaleza del voltaje que aparece en el blindaje y que se acopla capacitivamente a la entrada analógica. Si el voltaje se observa con un osciloscopio de banda ancha, va a verse como una "espiga" de ruido. Podemos ver que este transitorio va a acoplar una forma de onda de amortiguación rápida de amplitud de espiga significativa con la entrada del sistema analógico.

Aun en sistemas digitales puros, las interferencias de baja frecuencia pueden hacerse aparecer incluso en porciones del sistema aparentemente remotas

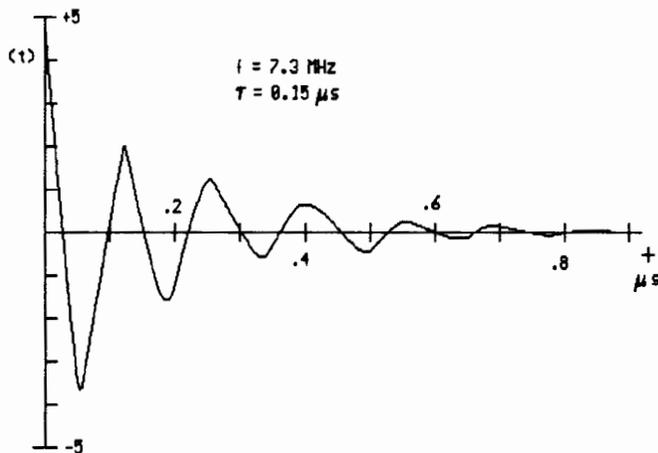


Figura V(B)-11. Respuesta del circuito de la figura 10, analizada en computadora.

que presentan la situación que se ha mostrado. Esto puede explicar algunas de las molestas interferencias en los sistemas que son tan difíciles de entender.

La selección adecuada de la conexión del blindaje entre las numerosas posibilidades, muchas veces no es obvia inmediatamente, y los lineamientos pueden no proporcionarnos una selección clara. No hay otra alternativa, más que analizar las diversas posibilidades y escoger el método para el cual pueda calcularse el ruido más bajo.

Por ejemplo, consideremos el caso ilustrado en la figura 12, en el cual el sistema de medición y la fuente tienen diferentes potenciales de tierra. ¿Debemos conectar el blindaje a A; el lado bajo a la entrada B del sistema de medición; la tierra a la entrada del sis-

tema, C, tierra en la fuente de la señal, o a D, el lado bajo a la fuente?

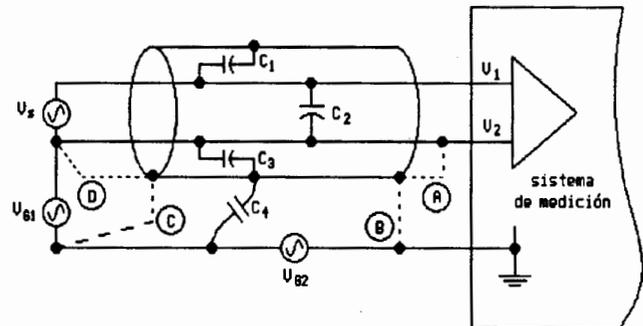


Figura V(B)-12. Tierras posibles donde el sistema y la fuente tienen potenciales de tierra diferentes.

A es una selección pobre, puesto que permite que fluya corriente de ruido en un conductor de señal. La vía de la corriente de ruido debida a V_{G1} , a su regreso por C_4 , se muestra en la Fig. 13a.

B también es una selección pobre, puesto que las dos fuentes de ruido en serie, V_{G1} y V_{G2} , producen un componente a través de los dos alambres de la señal, que se desarrolla por la impedancia de la fuente en paralelo con C_2 , en serie con C_1 , como se muestra en la figura 13b.

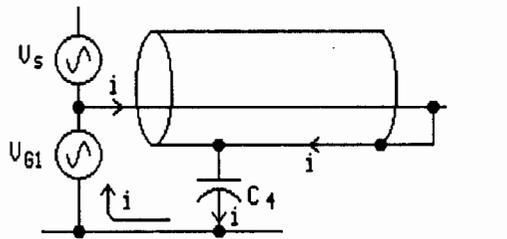
C también es una selección pobre, puesto que V_{G1} produce un voltaje a través de los dos alambres de señal por el mismo mecanismo descrito en B, como lo muestra la Fig. 13c.

D es la mejor opción, bajo las condiciones dadas, como puede verse en la Fig. 13d. También tiende a confirmar el lineamiento para conectar el blindaje al potencial de referencia de la señal.

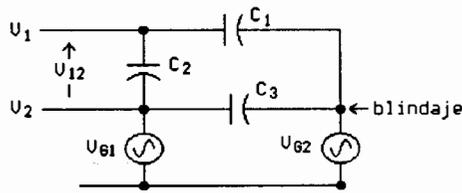
Ruido resultante de un campo magnético

Es mucho más difícil blindar un ruido originado por un campo magnético que el originado por un campo eléctrico, ya que pueden penetrar materiales conductores. Un blindaje característico colocado alrededor de un conductor y conectado a tierra en un extremo tiene muy poco efecto, si es que tiene algún efecto, sobre el voltaje inducido magnéticamente en ese conductor.

A medida que un campo magnético, B, penetra en un blindaje, su amplitud disminuye exponencialmente (Fig. 14). El grosor de la cubierta, δ , es decir, del material de blindaje se define como la profundidad de penetración requerida por el campo para ser atenuado.

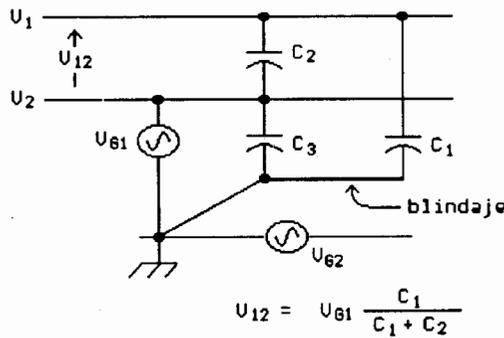


a) vía de retorno A



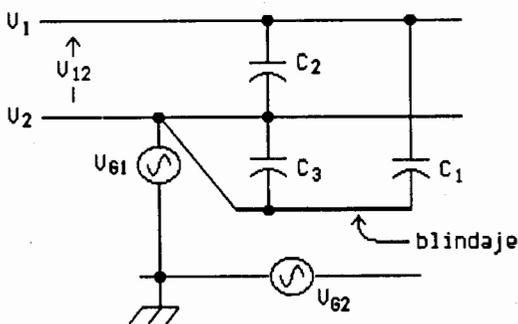
$$U_{12} = (U_{G1} + U_{G2}) \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

b) vía de retorno B



$$U_{12} = U_{G1} \frac{C_1}{C_1 + C_2}$$

c) vía de retorno C



$$U_{12} = 0$$

d) vía de retorno D

Figura V(B)-13. Circuitos equivalentes para diferentes conexiones a tierra que evitan generación de ruido

nuado a 37% [exp (-1)] de su valor en el aire libre. El cuadro I enlista los valores característicos de δ para diversos materiales a diferentes frecuencias ge-

neradoras del campo magnético. Podemos ver que cualquiera de los materiales será más efectivo como un blindaje para alta frecuencia, porque disminuye con la frecuencia, y que el acero proporciona por lo menos un orden de magnitud más efectivo de blindaje, a cualquier frecuencia, que el cobre o el aluminio.

La figura 15 compara la pérdida de absorción en relación con la frecuencia para dos grosores de cobre y acero. Acero de 1/8 de pulgada (3.1 mm) es bastante efectivo a frecuencias mayores de 200 Hz, inclusive un grosor de 0.5 mm de cobre es efectivo a frecuencias mayores de 1 MHz. Sin embargo todos muestran una debilidad a frecuencias menores, incluyendo las frecuencias de las líneas de alimentación de 50-60 Hz -fuente principal de ruido acoplado magnéticamente a baja frecuencia.

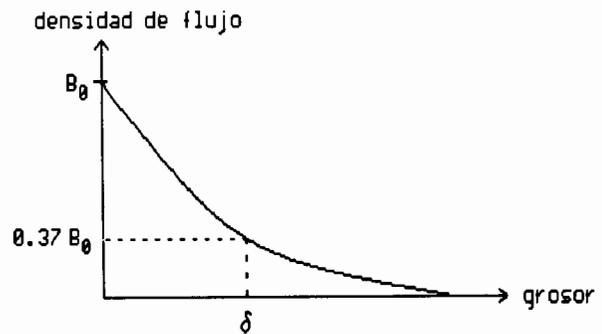


Figura V(B)-14. Campo magnético en un blindaje como una función de la profundidad de penetración.

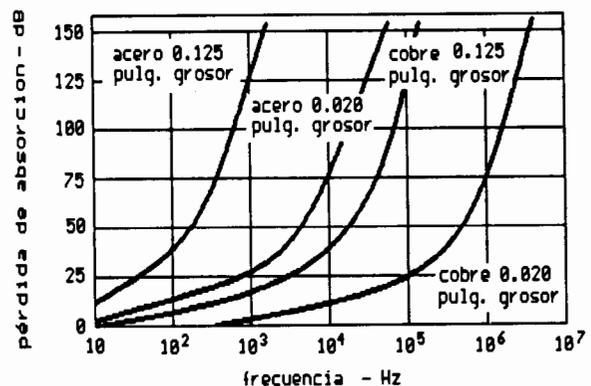


Figura V(B)-15. Relación entre la pérdida de absorción, la frecuencia y el grosor de blindajes de cobre y de acero.

Cuadro V(B)-I. Profundidad de la cubierta vs. frecuencia

Frecuencia	para cobre		para aluminio		para acero	
	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)	(pulg)	(mm)
60 Hz	0.335	8.5	0.429	10.9	0.034	0.86
100 Hz	0.260	6.6	0.333	8.5	0.026	0.66
1 kHz	0.082	2.1	0.105	2.7	0.008	0.2
10 kHz	0.026	0.66	0.033	0.84	0.003	0.08
100 kHz	0.008	0.2	0.011	0.3	0.0008	0.02
1 MHz	0.003	0.08	0.003	0.08	0.0003	0.008

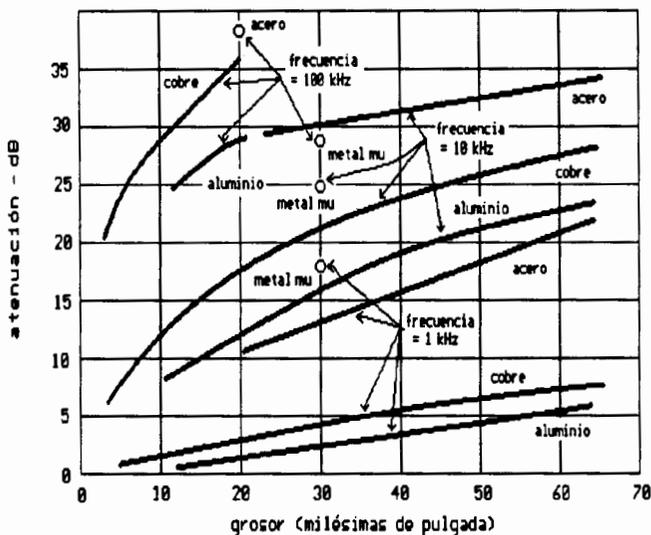


Figura V(B)16. Atenuación por blindaje con metal MU (aleación patentada de níquel-ferro-cobre) y otros materiales a diversas frecuencias.

Para mejorar el blindaje contra la interferencia magnética de baja frecuencia debe tomarse en consideración un material magnético de elevada permeabilidad (por ejemplo el Metal MU). La Figura 16 compara un grosor de 30-mil (1 mil es la milésima parte de una pulgada) de metal MU con diversos materiales a varias frecuencias. Muestra que por abajo de 1 kHz, el metal MU es más efectivo que cualquiera de los otros materiales, mientras que a 100 kHz es el menos efectivo. Sin embargo, el metal MU no es especialmente fácil de aplicar, y cuando se satura con un campo excesivamente potente ya no proporciona ninguna ventaja.

Como puede verse es muy difícil proteger contra los campos magnéticos, es decir, modificar el proceso acoplador por blindaje. Por ello, la mejor forma de contrarrestar la interferencia magnética de bajas frecuencias es minimizar la potencia del campo magnético que produce la interferencia, disminuir el

área de la malla receptora y reducir el acoplamiento al optimizar las geometrías del cableado. A continuación damos algunos lineamientos:

- Coloque los circuitos receptores lo más lejos posible de la fuente del campo magnético.
- Evite que los cables corran paralelos al campo magnético, en su lugar haga que el campo magnético cruce en ángulos rectos.
- Aísle el campo magnético con un material apropiado para la frecuencia y la potencia del campo.
- Use un par de alambres enrollados para los conductores que llevan la corriente elevada y que son la fuente del campo magnético. Si las corrientes en los dos alambres son iguales u opuestas, el campo neto en cualquier dirección sobre cada ciclo del enrollado será cero. (Fig. 17a). Para que este arreglo trabaje, ninguna de las corrientes puede ser compartida con otro conductor, por ejemplo, una conexión a tierra. La Fig. 17b muestra lo que puede ocurrir si se produce una malla (red) de tierras, si parte de la corriente fluye por el plano de tierra (dependiendo de la relación existente entre la resistencia del conductor y la resistencia de tierra) se formará una malla con el par enrollado, generando un campo determinado por $i_3 = (i_1 - i_2)$.

La conexión a tierra entre A y B no necesita ser tan simple como un cortocircuito para ocasionar problemas. Cualquier capacitancia o resistencia desbalanceada dispersa de los circuitos de carga R al plano de tierra también desbalancearán las corrientes, produciendo una malla a tierra y un campo magnético relacionado. Por esta razón, es también aconsejable hacer correr el par enrollado muy cercano al plano de tierra para tender a balancear las ca-

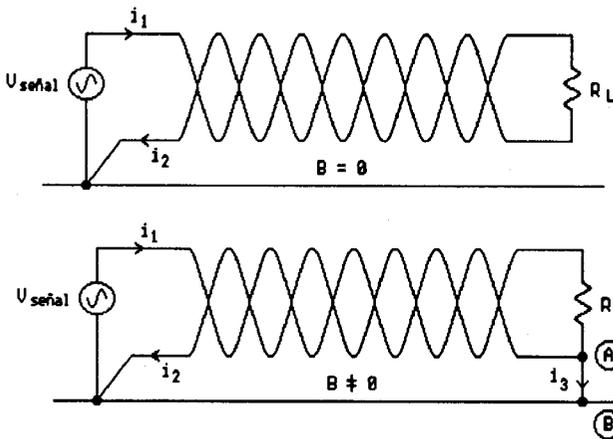


Figura V(B)-17. Conexiones a un par enrollado. (a) Conexión correcta con corriente balanceada. (b) Conexión incorrecta que forma una malla con diferencias de potencial a tierra.

capacitancias de cada lado a tierra, así como minimizar el área de la malla.

Este esquema puede ser útil, empleado en un sistema ATE, donde deben realizarse mediciones exactas en dispositivos con corrientes de fuentes de poder elevadas que pueden producir ruidos. Por ejemplo, la figura 19 muestra la aplicación de esta técnica para las conexiones de la fuente lógica de elevada corriente para un convertidor analógico/digital que está siendo probado -al final del cable de prueba.

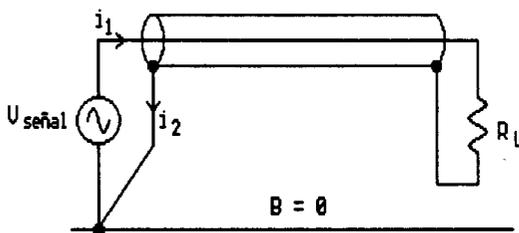


Figura V(B)-18. Uso de blindaje para la corriente de retorno a la fuente de ruido.

- Puesto que el ruido inducido magnéticamente depende del área de la malla receptora, el voltaje inducido debido a un acoplamiento magnético puede disminuirse al reducir el área de la malla. ¿Cuál es la malla receptora? En el ejemplo que se muestra en la figura 20, la fuente de la señal y su carga están conectadas por un par de conductores de longitud L y separación D . El circuito (suponiendo que tiene

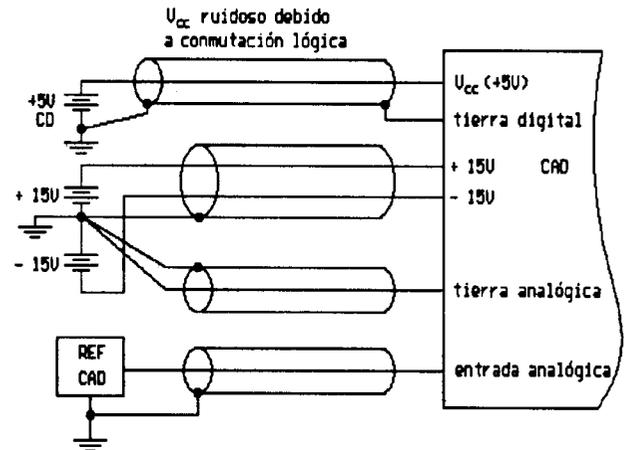


Figura V(B)-19. Aplicación del circuito de la Fig. 18 en un sistema de prueba.

una configuración rectangular) forma una malla en el área $D \times L$.

El voltaje inducido en serie con la malla es proporcional al área y al coseno de su ángulo con respecto al campo. Por lo tanto, para disminuir el ruido, la malla debe orientarse en ángulos rectos al campo y su área debe minimizarse.

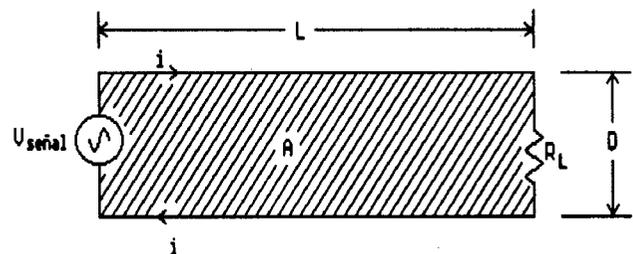


Figura V(B)-20. Área de una malla en la que se induce ruido por acoplamiento magnético.

El área puede reducirse disminuyendo la longitud y/o disminuyendo la distancia entre los conductores. Esto se logra fácilmente con un par enrollado, o por lo menos con un par de conductores con cableado apretado. Es aconsejable aparear conductores de tal manera que el alambre del circuito y su vía de retorno siempre estén juntos. Para lograr esto, el diseñador debe estar seguro de cuál es la vía real que la corriente de retorno toma al regresar a la fuente de la señal. Muy a menudo, la corriente regresa por una vía que no estaba planeada en el diseño original.

Si los cables se mueven (por ejemplo, por un técnico al buscar algún otro problema), el área de la malla y la orientación del campo pueden variar, de

tal manera que el nivel de ruido que era aceptable ayer puede transformarse en un nivel desastroso al día siguiente. Esto puede originar una solicitud de reparación o servicio... y otra repetición del ciclo. Por lo tanto, lo importante es identificar el área y la orientación de la malla (cableado), haga lo que sea necesario para minimizar el ruido, **asegure permanentemente el cableado en la posición que menor ruido acepte.**

Blindajes de protección¹ con voltaje ajustable (guardas impulsadas)

Hemos discutido la función de un blindaje conductor de corriente, el cual transmite una corriente igual y opuesta para reducir el ruido generado al disminuir el campo magnético alrededor del conductor. La protección (guarda) es similar en cuanto a que involucra un conductor en el blindaje, a baja impedancia, con un potencial esencialmente igual al voltaje de modo común de la señal del alambre contenido dentro del blindaje. La protección (guarda) tiene numerosos propósitos útiles: Reduce la capacitancia de modo común, mejora el rechazo de modo común y elimina la corriente de fuga en circuitos de medición de elevada impedancia.

La figura 21 muestra un ejemplo de un amplifica-

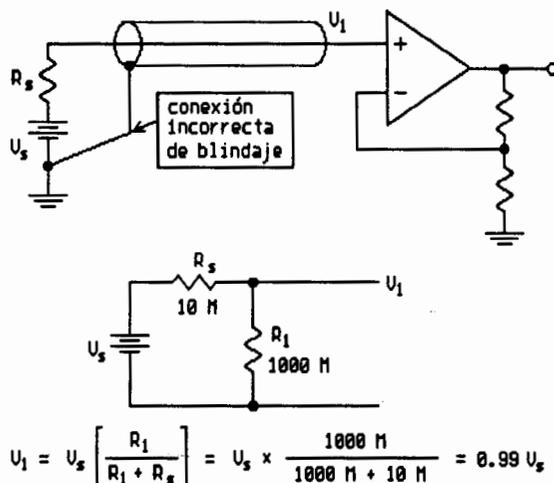


Figura V(B)-21. Amplificador operacional conectado como un amplificador de impedancia elevada, no inversor con ganancia y con una terminal de entrada blindada.

dor operacional, con corriente de polarización insignificante conectado como un amplificador de impe-

dancia elevada, no inversor con ganancia. El propósito del cable es blindar el conductor de la señal de entrada de impedancia elevada del ruido inducido capacitivamente y minimizar las corrientes de fuga. La señal proviene de una fuente de 10 megaohmios, y se supone que su cable tiene una resistencia de fuga de 1000 megaohmios (la cual puede variar en función de la temperatura, humedad, etcétera) del conductor al blindaje. Si se conecta como se muestra, el circuito de entrada equivalente es un atenuador que pierde 1% de la señal en el momento en que se hace la medición, y una fracción desconocida en otros momentos. Además, la capacitancia del cable produce una constante de retardo de tiempo sustancial, $R_s C_c$.

La figura 22 tiene los mismos componentes, pero el blindaje está conectado a la derivación del divisor de ganancia (por lo general, a impedancia baja). Al estar conectado a la entrada inversora del amplificador operacional, debe estar al mismo potencial de la entrada no inversora del amplificador. Puesto que no existe voltaje a través de la resistencia de fuga del cable, no habrá corriente a través de él y por consiguiente su valor de resistencia no tiene importancia; V debe, por lo tanto, ser igual a V puesto que la corriente de polarización se consideró insignificante.

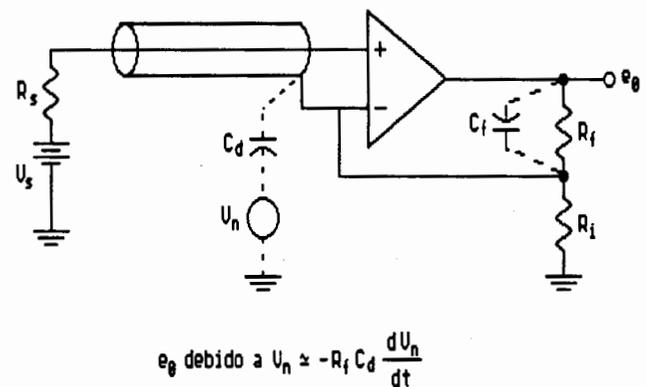


Figura V(B)-22. Igual a la figura 21, pero el blindaje del cable está conectado como protección (guarda).

Además no hay voltaje a través de la capacitancia del cable, por consiguiente no hay carga o descarga del cable; por lo tanto, la constante del tiempo de retardo depende principalmente de fugas del circuito y la capacitancia de entrada del amplificador. Para es-

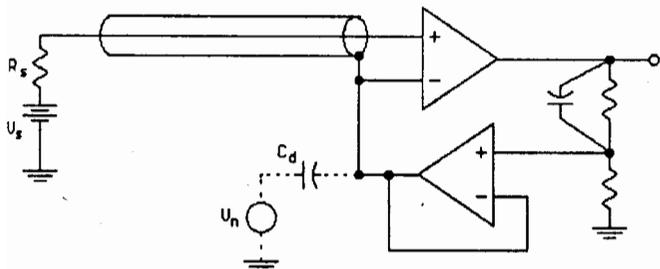
1 Llamado también "impulsado" por traducción directa de "drive".

tabilidad, la capacitancia debe conectarse entre la salida y la entrada negativa, de tal manera que $C_f R_f$

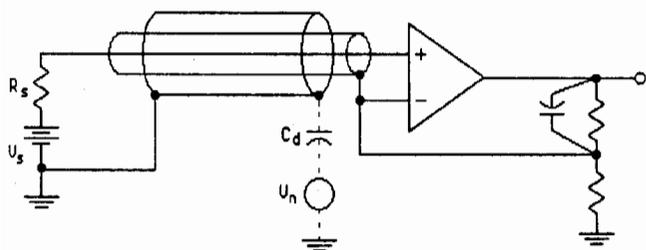
$= C_d R_i$, donde C_d es la suma de la capacitancia dispersa entre el blindaje y la tierra y la capacitancia de entrada.

No se deberá aplicar voltaje de ruido a la protección (guarda). En los sistemas ruidosos, como lo muestra la figura 22, el ruido acoplado capacitivamente se diferenciará, haciendo énfasis en los componentes de elevada frecuencia. Esto se puede evitar (Fig. 23) ya sea empleando un seguidor amortiguador de respuesta rápida e impedancia de salida baja, que establece un potencial ajustable (impulsada) en la protección (guarda) (a); o un segundo blindaje, alrededor de la protección (guarda) conectada a tierra en el común de la señal (b).

En configuraciones de impedancia elevada y de inversión de corriente de entrada, donde se emplea una longitud de cable blindado para proteger la terminal de la fuente de corriente a la entrada inversora del amplificador, la protección (guarda) debe ser ya sea conectada a un amortiguador al mismo potencial de la entrada no inversora (y no conectarse a ningun otro lado), o debe conectarse directamente a la entrada no-inversora, con un segundo blindaje exterior, conectada al punto de referencia de la señal.



a) blindaje conductor



b) guarda

Figura V(B)-23. Cómo evitar la captación de ruido en la protección (a) Protección con voltaje ajustable (guarda impulsada). (b) Protección (guarda) blindada.

RESUMEN

El cuadro II resume los puntos importantes tratados en este apéndice. Todos son importantes para mantener un sistema de blindaje de elevada integri-

CUADRO V(B)-II. Aplicación de las consideraciones de blindaje

Consideraciones	Universal	Eléctrico	Magnético
Conozca la fuente del ruido, proceso de acoplamiento y receptor	X	X	X
Se requieren diferentes técnicas de blindaje para diferentes fuentes de ruido, procesos de acoplamiento y receptores	X	X	X
En la mayoría de las situaciones, el análisis convencional de circuitos, empleando circuitos equivalentes puede ser útil	X	X	X
Conecte el blindaje en el extremo de la fuente de la señal	X		
Conduzca el blindaje a través de los conductores		X	

Consideraciones	Universal	Eléctrico	Magnético
Los blindajes individuales no deben unirse			X
No conecte a tierra ambos extremos de un blindaje		X	
No permita el flujo de corrientes de blindaje, excepto en los blindajes conductores para cancelar campos magnéticos		X	X
No permita voltaje en el blindaje, excepto para protección (guarda)		X	
Conozca exactamente por dónde va fluir corriente de ruido del blindaje		X	
Use conexiones cortas para regresar corriente de ruido del blindaje		X	
Los blindajes electrostáticos tienen poco efecto en reducir ruido resultante de campos magnéticos			X
Reduzca los campos magnéticos por separación física, orientación apropiada, pares enrollados y/o blindajes conductores			X
Conozca el área de la malla receptora y la orientación al campo. Mantenga el campo en ángulos rectos y reduzca el área de la malla empleando conductores aparejados, de preferencia pares enrollados y minimice la longitud de los cables			X
Emplee protección (guarda) en los circuitos de alta impedancia	X	X	
En circuitos de alta impedancia, sea extremadamente cuidadoso de ruido en el blindaje	X	X	

dad. Sin embargo, no podemos enfatizar lo suficiente los dos aspectos que se ignoran con mayor frecuencia: aparición de voltajes de ruido en blindajes de señal y la disposición apropiada de las corrientes de ruido en los blindajes. **No debe existir voltaje de ruido en el blindaje**; la capacitancia entre el blindaje y el conductor va a causar un acoplamiento directo del ruido al conductor central. **Si las corrientes del blindaje no son regresadas correctamente, pueden aparecer en un punto distante del sistema** y probablemente causar problemas en un punto sin ninguna relación con el problema de blindaje que se deseaba "solucionar".

BREVE BIBLIOGRAFIA

Para lecturas adicionales, vea:

Brokaw, A. Paul. "Analog Signal Handling for High Speed and Accuracy" Analog Dialogue 11-2, 1977, pp10-16

Brokaw, A. Paul. "An I.C Amplifier Users' Guide to Decoupling, Grounding, and Making Things Go Right for a Change" Analog Devices Data-Acquisition Databook, 1982, Vol.1, pp. 21-13 a 21-20.

Morrison, Ralph. "Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation". 2nd. Edition (New York, John Wiley & Sons, 1977)

Ott, Henry W. "Noise Reduction Technique in Electronic Systems" (New York, John Wiley & Sons, 1976).

APENDICE C

CAPITULO V

INTERFERENCIA DE 60 HZ EN LA ELECTROCARDIOGRAFIA ¹

Introducción

La interferencia producida por los 60 Hz de CA, en ocasiones denominada ruido CA o artefactos CA (artificios), puede ser un problema en cualquier situación de registro de biopotenciales. La fuente de esta interferencia es la línea de suministro de energía de CA (voltaje alterno) que se encuentra inevitablemente presente en cualquier situación clínica, simplemente para proporcionar luz o energía al equipo de registro.

Este trabajo separa, define y describe cuantitativamente las diversas formas cómo la interferencia puede llegar al registro del ECG. Los métodos y cálculos descritos aquí no se restringen a los registros del ECG, éstos pueden aplicarse a cualquier sistema de registro de biopotenciales.

Empezamos por hacer notar que los potenciales de CA siempre están presentes, y no es su presencia, sino más bien sus efectos, lo que queremos minimizar. Desarrollamos pruebas simples para identificar la forma en la cual la interferencia está entrando al sistema de tal manera que la podamos eliminar. Esperamos que al terminar la lectura de este material comprenda las variables involucradas en este problema, para que pueda evaluar, con conocimientos, los nuevos desarrollos en la instrumentación biomédica relacionada con el registro de biopotenciales. Un médico o enfermera debe beneficiarse de la lectura del resumen, pruebas y soluciones. La interferencia en el ECG no es un mal necesario, una molestia recurrente que deba ser tolerada. Atacando en forma organizada el problema podemos eliminar efectivamente las causas de la interferencia y evitar las medidas drásticas, tales como cambiar el sitio de los registros o la instalación de aislamientos costosos, o adquirir un aparato "más moderno", creyendo que se solucionará el problema.

Fuentes de interferencia y criterios para el registro

El campo de CA que puede causar interferencia puede ser clasificado en dos categorías independientes: magnético y eléctrico. Un campo magnético cambiante **B** producido por CA puede inducir una fuerza electromotriz en cualquier circuito conductor cercano, lo cual causa un potencial de CA. Un campo eléctrico cambiante **E** producido por un potencial alterno también puede producir interferencia haciendo que las corrientes alternas se deriven a tierra a través del sistema. Estas corrientes fluyen a través de las impedancias de los tejidos y de los electrodos, produciendo así potenciales de CA. En sentido estricto, estas corrientes son flujos eléctricos que resultan de corrientes de desplazamiento. Sin embargo, nos referiremos a estos flujos eléctricos como corrientes de desplazamiento (I_D) para enfatizar que resultan del acoplamiento capacitivo entre los campos y el sistema.

Los campos de CA tienen muchas fuentes de origen incluyendo los focos de alumbrado, el cableado y los contactos de CA (tomas de corriente), y otros equipos que funcionan en su cercanía. Wolbarsht y Spekrijse [1] dan una lista de estas fuentes. También analizan la interferencia por frecuencias elevadas, tales como las provenientes de estaciones de radio. Huntsman y Nichols [2] han propuesto una solución para este último tipo de problema, empleando un filtro para las frecuencias de radio (RF). Algunas fuentes de potenciales de 60 Hz producen campos eléctricos pero no magnéticos. Por ejemplo, un equipo conectado pero apagado seguirá produciendo un campo eléctrico aunque no exista corriente. Un potencial de 60 Hz seguirá presente en uno

1 Traducción de: "60-Hz Interference in Electrocardiography", James C. Huhta and John G. Webster, c 1973 IEEE. Reimpreso con permiso de IEEE Transactions on Biomedical Engineering Vol. BME-20, No. 2, pp 90-100, marzo 1973, con adaptaciones al medio latinoamericano.

de los alambres que va al interruptor de encendido. Sin embargo, para producir un campo magnético es necesario que fluya corriente por los cables. Los transformadores de las fuentes de poder de la mayoría de los equipos son una fuente común de campos magnéticos. Podemos evitar que los campos eléctricos penetren en un circuito aislándolos con una superficie altamente conductiva, tal como cobre o aluminio, pero para proteger contra la interferencia magnética tenemos que usar algún material ferromagnético, tal como el metal MU. Sin embargo, antes de que empecemos a aislar (blindar) el cuarto, los cables de CA, o inclusive al paciente, examinemos cómo puede aparecer en primer lugar la interferencia en el ECG. Se mantiene la designación en inglés para los electrodos: RA, Right arm = brazo derecho; LA, left arm = brazo izquierdo; RL, Right leg = pierna derecha, debido a su frecuente uso y costumbre en el medio clínico.

La figura 1 muestra una representación esquemática de un sistema de registro de ECG derivado a tierra. Todas las cantidades de CA y los biopotenciales expresados en este trabajo son magnitudes pico-a-pico.

La nomenclatura está definida en la siguiente forma:

- B campo magnético de 60 Hz (densidad del flujo magnético Wb/m^2);
- S área que encierra la malla formada por los conductores A y B (m^2);
- E intensidad del campo eléctrico de 60 Hz (V/m);
- I_D corrientes de desplazamiento de 60 Hz producidas por E (A);
- Z_1, Z_2 impedancia entre el electrodo y el tejido (Ω);
- Z_G impedancia del electrodo de derivación a tierra (Ω);
- Z_I impedancia del interior del cuerpo (Ω);
- C_1, C_2, C_B acoplamiento de capacitancias en el sistema (μF);
- Z_D impedancia diferencial del amplificador de entrada (Ω);
- Z_{in} impedancias de entrada del amplificador, referida a tierra (Ω)

Se presupone, inicialmente, que el amplificador es perfecto. Primero, debemos saber cuál valor de interferencia es significativo en comparación con la señal del ECG. Un potencial ECG típico en el cuerpo es de aproximadamente 1 mV ó 0.001 V. Si reducimos la interferencia a 1% de la señal deseada, no

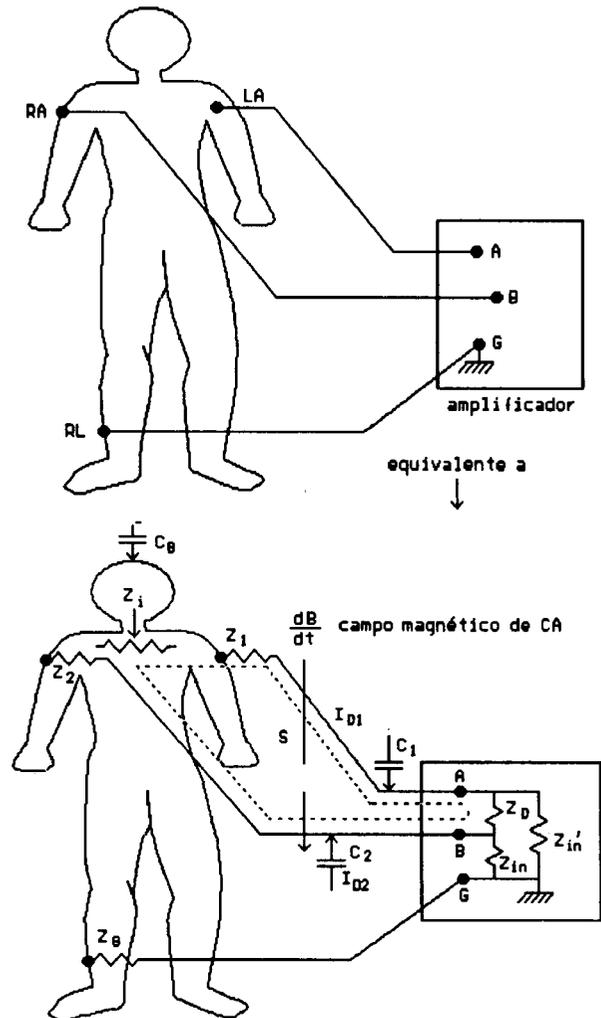


Figura V(C)-1. Configuración característica de registro de ECG en derivación I y el circuito equivalente. RA corresponde al brazo derecho. LA al izquierdo. RL correspondiente a la pierna derecha. Los capacitores simulan la entrada de las corrientes de desplazamiento. Las líneas interrumpidas indican el área de la malla conductiva.

afectará significativamente al registro. Uno por ciento de 1 mV corresponde a 10 mV. En otras palabras, la interferencia que puede entrar al registro de ECG, y casi no se nota, debe ser menor de 10 mV, interferencias de mayor magnitud no son aceptables. En la misma forma podríamos calcular la tolerancia a la interferencia en cualquier sistema. En un sistema de EEG, por ejemplo, los potenciales mínimos que deben registrarse son de aproximadamente 50 mV, de tal manera que la tolerancia a la interferencia, empleando nuestro criterio del 1%, sería de 0.5 V. Esta es la magnitud mínima del potencial de interferencia que puede aparecer diferencialmente entre las entradas A y B del amplificador para que sea detectable en la salida. Las diferentes formas co-

mo pueden penetrar las interferencias a los sistemas de registro de biopotenciales son: 1) inducción magnética, 2) corrientes de desplazamiento en los cables de los electrodos, 3) corrientes de desplazamiento en el cuerpo, y 4) interconexión en el equipo e imperfecciones del mismo.

Examinaremos cada una de las variables, empleando el siguiente esquema: 1) descripción, 2) prueba, y 3) solución. Empleando este procedimiento debemos ser capaces de lograr una eliminación, paso a paso, de cada variable y, ya sea encontrar el problema, o tener una buena razón para sospechar de fallas en el equipo y sobre todo de solucionar el problema y obtener registros adecuados de biopotenciales.

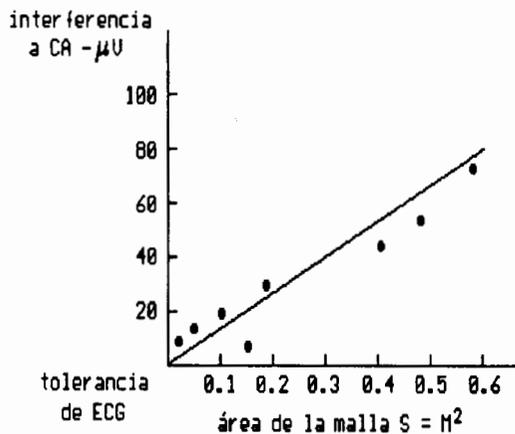


Figura V(C)-2. Potencial de CA en la entrada del amplificador en relación con el área de la malla para la interferencia por inducción magnética.

Inducción magnética

Descripción. Hasta ahora, algunos autores se han referido a la interferencia causada por la inducción en una malla con el término de Interferencia Electromagnética (EM). Puesto que nuestro interés se centra en los campos irradiados en el campo cercano, emplearemos el término de Interferencia Magnética, el cual describe mejor este tipo de interferencia. El término de interferencia EM puede, por consiguiente, reservarse para los tipos de irradiación de alta frecuencia mencionados anteriormente donde la fuente está relativamente lejos (campo lejano).

Cualquier malla conductiva en la vecindad de un flujo magnético cambiante, tendrá un potencial (EMF) inducido que es proporcional al área de la

malla (se entiende por malla la superficie comprendida entre los conductores, tanto cables como paciente), su orientación y la magnitud de la densidad del flujo magnético. La ley de Maxwell-Faraday de la inducción magnética [3] dice:

$$\text{potencial inducido} = - \frac{d\phi}{dt} = - \frac{d}{dt} \int B \, dS = - \frac{dB}{dt} S \quad (1)$$

$$\phi = \text{flujo [Wb]}$$

$$B = B_M \cos \phi \cos \theta \cos \omega t \text{ [Wb/m}^2\text{]}$$

$$\omega = (2\pi) (60) \text{ [rad/s]}$$

$\cos \phi \cos \theta$ = orientación de la malla (θ y ϕ especifican las coordenadas polares)

Tomando la derivada, encontramos que:

$$\text{el potencial inducido} = \omega S B_M \cos \phi \cos \theta \sin \omega t \quad (2)$$

B_M es la magnitud pico-a-pico del campo magnético. Si suponemos una frecuencia y una orientación de la malla constantes, obtenemos la siguiente ecuación:

$$\text{potencial pico inducido} = K B_M S \quad (3)$$

donde K es una constante. Suponemos que existe una cierta densidad de flujo de 60 Hz en cualquier situación, de tal manera que la variable importante es el área S de la malla. Véase la Fig. 1.

La naturaleza de los campos de CA depende del medio ambiente. Nosotros registramos la mayor interferencia inducida en una malla de cable conectado a la entrada de un osciloscopio cuando la malla tenía orientación aproximadamente paralela al piso. Esto implica que, para este caso en particular, el campo magnético más potente estaba entre el techo y el piso del cuarto. Sin embargo, cualquier orientación de dicho campo es posible. También notamos un potencial armónico de 180 Hz cuando la malla estaba orientada perpendicularmente al piso. Todas las mediciones fueron tomadas considerando que el sujeto fuese parte de la malla conductiva, correlacionándose muy bien con mediciones en las cuales la malla era tan sólo un pedazo de alambre. La figura 2 muestra una gráfica de la interferencia en relación con el área de la malla. La curva lineal indica que el

campo B era aproximadamente constante durante todo el experimento y se calculó, usando (2), en aproximadamente $3.2 \times 10^{-7} \text{ Wb/m}^2$. La pendiente para esta curva en particular fue de aproximadamente 120 mV/m área de la malla. Nuestra tolerancia a la interferencia para el registro de ECG (10 mV) resulta de un área de la malla de menos de 0.1 m^2 , o de aproximadamente 30 cm por 30 cm . Empleando cable aislado para la malla dio los mismos resultados. De hecho, el emplear un aislante magnético alrededor del alambre daría los mismos resultados, porque la densidad de flujo B aún entra al área S. Sería necesario aislar magnéticamente toda esta área para eliminar este factor. Podemos preguntar ¿por qué el área de la malla de la entrada B a tierra no aparece en la ecuación? La respuesta es que hay un potencial de CA inducido en esta malla, pero es común a ambas entradas A y B. Nuestro amplificador ideal amplifica sólo la **diferencia** entre los potenciales en A y en B.

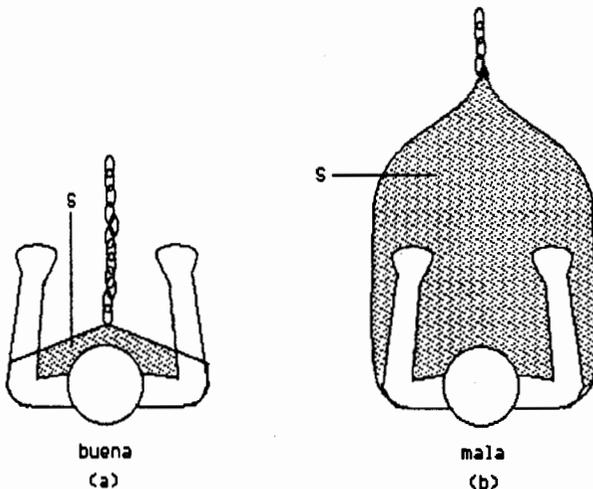


Figura V(C)-3. Colocación de los conductores de los electrodos que ilustra la inducción magnética en la malla. (a) Colocación correcta; los cables enrollados corren cercanos al cuerpo, produciendo un área S pequeña. (b) Colocación incorrecta: el área S puede ser hasta de 0.2 m^2 .

Prueba. La mejor forma de comprobar la interferencia magnética es variando el tamaño de la malla que se forma entre el sujeto y los dos cables de los electrodos de entrada. Separando los cables debe aumentar la interferencia. Debería aumentar linealmente con el área y ser sensible a la rotación del plano de la malla.

Solución. La mejor forma de eliminar la interferencia magnética es simplemente reducir al máximo el área de la malla. Esto puede lograrse enrollando

los cables y guiándolos cerca del cuerpo. La figura 3 muestra la colocación correcta e incorrecta de la posición de los cables en la derivación I. Podemos aplicar los mismos principios a cualquier configuración de cables en las diferentes derivaciones.

La figura 4 muestra registros de ECG tomados con un electrocardiógrafo MEDI-CEDAT. Estos registros fueron hechos en la inmediata cercanía de una unidad de regulación de alto voltaje. La única diferencia entre los trazos superiores e inferiores para las derivaciones I y II es la colocación del cable del electrodo. Los trazos inferiores muestran una interferencia significativa como resultado del aumento del área efectiva de la malla.

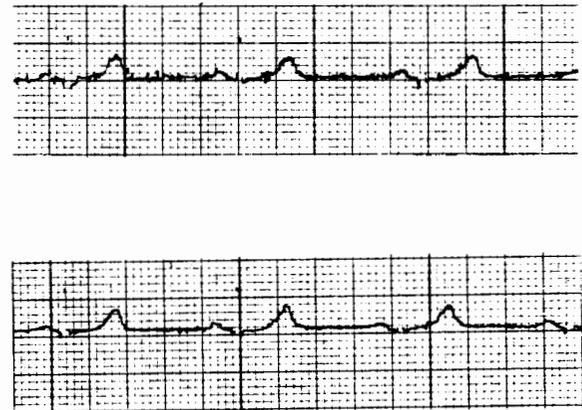


Figura V(C)-4. Registros ECG tomados en una situación clínica en la derivación I (a) trazo tomado con un área grande; (b) trazo cuando se disminuye el área.

Corrientes de desplazamiento hacia los cables

Descripción: Al cambiar la intensidad del campo eléctrico se produce un acoplamiento capacitivo de la corriente de desplazamiento hacia los cables conductores del ECG.

Suponemos primero que los cables de los electrodos no están aislados e investigamos la magnitud de la interferencia que podría causarse. El modelo equivalente (Fig. 5) muestra una situación de registro y las impedancias de los electrodos Z_1 y Z_2 . Se ha supuesto que las resistencias internas del cuerpo son nulas. Debido a que se produce un campo eléctrico de CA por un potencial eléctrico cambiante

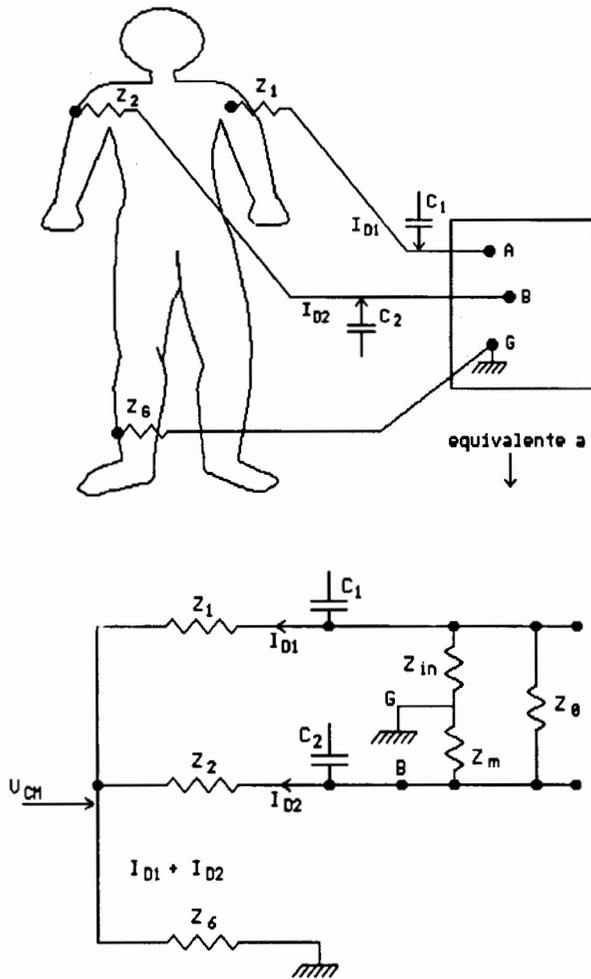


Figura V(C)-5. Modelo simplificado para ilustrar corrientes de desplazamiento de CA, acoplándose en los cables no aislados de los electrodos. Supongamos que $Z_{in}^1, Z_{in}^2, Z_1 > Z_1, Z_2, Z_G, V_{CM}$ es el potencial de modo común. Se suponen insignificantes las impedancias del interior del cuerpo (Z_1)

por encima del valor de tierra, cualquier corriente de desplazamiento va a fluir a tierra por la vía de menor resistencia. Suponemos que Z_{in} y Z_D son muy grandes de tal manera que cualquier corriente acoplada a los cables de los electrodos fluye a través de la impedancia asociada de los electrodos y la impedancia de tierra Z_G . El voltaje importante es el que aparece entre las entradas A y B, es decir, $V_A - V_B$:

$$V_A = Z_1 I_{D1} + (I_{D1} + I_{D2}) Z_G \quad (4)$$

$$V_B = Z_2 I_{D2} + (I_{D1} + I_{D2}) Z_G \quad (5)$$

$$V_A - V_B = Z_1 I_{D1} - Z_2 I_{D2} \quad (6)$$

Si $Z_1 I_{D1} = Z_2 I_{D2}$, la interferencia por este factor será nula.

NOTA. También por uso y costumbre se dejó la letra G (ground) para indicar tierra.

Un desbalance en la impedancia del electrodo o valores desiguales de la corriente de desplazamiento en los cables puede causar interferencia. Este tipo de problema se puede generar fácilmente; el técnico de mantenimiento no detecta la presencia de un electrodo "sucio" y el otro "limpio".

Realizamos experimentos para medir cuánta corriente de desplazamiento fluye según los diferentes grosores y longitudes de cable. En un experimento típico, un solo cable de 3 m de longitud del No.20 no aislado captó hasta 6 nA ($1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$) de corriente de desplazamiento bajo condiciones de registro deficientes (cables de CA y equipo eléctrico cercano). Este valor se redujo en 80-90% cuando un objeto derivado a tierra se encontraba cerca (en este caso una persona con conexión a tierra). Cualquier superficie equipotencial derivada a tierra va a distorsionar el campo eléctrico y disminuirá la corriente de desplazamiento en los cables. Nuevamente, estos problemas, a veces, son muy difíciles de detectar por el técnico de mantenimiento debido a que, cuando él va a revisar el equipo, el técnico encargado de hacer el ECG no está en ese momento platicando con alguna persona que interfiere con el campo, cuya ropa es más o menos conductora actuando como aislante o derivando el campo a tierra.

En la mayoría de las situaciones de registro, la longitud de los cables es la misma y, por ello, si éstos corren muy cercanos, la corriente de desplazamiento en cada uno debería ser aproximadamente igual. Considerando la suposición válida de que $I_{D1} = I_{D2} = I_D$ (excepto cuando una fuente de CA se encuentra muy cerca de uno de los cables y no cerca de otro), se puede calcular el potencial de interferencia que aparecerá, presuponiendo un desbalance en la impedancia del electrodo de $5,000 \Omega$.

$$V_{ac} = V_A - V_B = I_D (Z_1 - Z_2) \quad (7)$$

donde:

V_{ac} magnitud de la interferencia de CA

$$V_A - V_B = (6 \times 10^{-9} \text{ A}) 5,000 \Omega;$$

$$V_A - V_B = 30 \mu\text{V}.$$

Esta magnitud de interferencia corresponde a aproximadamente el 3% de los potenciales del ECG. Muchos autores han investigado las variaciones características de la impedancia electrodo-tejido relacionada con la frecuencia y la distorsión que generan en el ECG como resultado de la modificación de la impedancia de entrada del amplificador [4-9]. Estos problemas se tratarán en la sección de diseño de equipo. La impedancia de los electrodos a 60 Hz puede variar desde menos de 1,000 hasta 100,000 ohmios en algunos casos [10]. Aunque es importante la magnitud del área de interfase electrodo-tejido, la interferencia penetra en el sistema de registro del ECG como resultado del desbalance de las dos impedancias.

Muchos cables comerciales que tienen menos de 1 m de longitud están fabricados con cable no-aislado. No causan una interferencia excesiva ya que la corriente de desplazamiento es demasiado baja para causar una caída apreciable del potencial a través de la impedancia del electrodo. Es más, en otro experimento en el que se emplearon tres cables no-aislados como cables para electrodos y aunque se volvió a medir una corriente de 6×10^{-9} A en cada cable capaz de generar interferencia, los componentes del ECG no presentaban interferencia notable. Pero, ¡cuidado! las variables pueden ser aditivas, un electrodo mal fijado, un cable más largo o más grueso, un aparato eléctrico de alto consumo de corriente sí genera interferencia significativa.

Aún existe controversia en cuanto a que si un área grande del electrodo aumenta o disminuye la interferencia. Por un lado, el área más grande podría acoplar mayor cantidad de corriente de desplazamiento hacia el sistema. Por el otro lado, al aumentar el área se disminuye la impedancia electrodo-tejido (11). Debido a los campos altamente reducidos cercanos al cuerpo y debido al hecho de que al aumentar por igual el tamaño de los dos electrodos no va a aumentar la corriente diferencial, concluimos que los electrodos más grandes van a disminuir la interferencia y, concomitantemente, al hacer muy pequeña el área del electrodo va a aumentar la interferencia.

Prueba. Hemos visto que si los cables están sin malla de aislamiento, existe la posibilidad de que las corrientes de desplazamiento de CA produzcan un problema, cuando a esto se suman impedancias dife-

rentes por variación en las interfases electrodo-tejido. Para probar este factor, enrolle juntos los cables para evitar la inducción magnética, coloque los dos electrodos inmediatamente adyacentes uno al otro, en cualquier lugar del cuerpo, y observe la salida teniendo la conexión a tierra de la pierna derecha colocada en su lugar. Luego retire los tres electrodos y colóquelos en un recipiente con solución salina o únalos con pasta para electrodos. Si existe una interferencia notoria teniendo los electrodos sobre el cuerpo y no con la otra configuración, la impedancia de uno de los electrodos puede estar en desbalance.

Solución. Si determinamos que existe un desbalance de impedancia, la causa podría ser una deficiente preparación de la piel, pasta para electrodo seca, o cualquier otra forma de contacto deficiente entre el electrodo y la piel. Anteriormente, en casos muy difíciles podía ser necesario frotar la piel con papel de lija muy fino hasta causar un eritema muy suave o enrojecimiento de la piel [5], actualmente basta con limpiar con alcohol y frotar suavemente la piel, pero lo más importante es que los electrodos estén completamente limpios.

La interferencia también puede ser causada por la colocación del cable, lo cual hace que sean desiguales las corrientes de desplazamiento hacia los cables. Por lo general, la colocación de los cables que produce disminución de la interferencia debida a inducción magnética (como se discutió anteriormente) también reduce este efecto. Los cables adecuadamente aislados deben eliminar cualquier interferencia debida a corriente de desplazamiento. Sin embargo, al aislar los cables pueden introducirse otros tipos de interferencias. Nosotros probamos cables aislados de 3 m en cuanto a la producción de artefactos debidos a flexión. La agitación vigorosa de los cables produjo aproximadamente $100\mu\text{V}$ de ruido. Esta situación es poco probable que se presente al hacer un registro en seres humanos en la clínica. La capacitancia del cable aislado limita la longitud de cable que puede ser usada, como lo mostraremos más adelante. Si la prueba muestra que existe interferencia al tener los electrodos colocados sobre el cuerpo y también cuando están en corto circuito ya sea en la solución salina o mediante su unión con la pasta para electrodo, deberá sospecharse de alguna falla en el equipo.

Corrientes de desplazamiento hacia el cuerpo

Descripción. En la sección previa vimos que las corrientes de desplazamiento pueden penetrar en los cables debido al acoplamiento capacitivo. La superficie del cuerpo humano también puede actuar como un capacitor, y la corriente de desplazamiento va a fluir a través del cuerpo si éste está derivado a tierra. Esto da como resultado que el cuerpo presente un potencial por arriba del valor de tierra determinado por la corriente de desplazamiento y la impedancia del electrodo a tierra Z_G . Una forma fácil de estimar la magnitud de la corriente de desplazamiento que entra al cuerpo es colocar un dedo en la terminal de entrada de un osciloscopio referido a tierra, asegurándose de que el cuerpo no esté derivado a tierra a través de los zapatos en contacto con el piso o por cualquier otra vía. Conociendo la impedancia de entrada del osciloscopio a 60 Hz, podemos calcular la corriente de desplazamiento de CA por la siguiente fórmula.

$$I_D (\text{A}) = \frac{V_{ac} (\text{Voltaje CA en el osciloscopio})}{Z_o (\text{impedancia de entrada del osciloscopio a 60 Hz})} \quad (8)$$

Este valor rara vez excederá de $1 \mu\text{A}$, aun si se está tocando el cable de la línea de suministro de CA y lo más probable es que sea de $0.1 \mu\text{A}$. Si no conocemos la impedancia de entrada del osciloscopio, podemos determinar rápidamente su valor aproximado con esta simple prueba. Registre el valor del potencial de CA como se mencionó anteriormente, colocando un dedo en la entrada del osciloscopio. Llame a este valor V_1 . Retire el dedo y tome por un extremo una resistencia de $1 \text{ M}\Omega$, insertando el otro extremo en la entrada del osciloscopio. Llame a este valor V_2 . Luego calcule Z_o , la impedancia de entrada, mediante la siguiente fórmula:

$$Z_o = \frac{V_2 (1 \text{ M}\Omega)}{V_1 - V_2} \quad (9)$$

El valor de I_D es la corriente que va a fluir a través del cuerpo y la tierra a través del electrodo de tierra. Una corriente insignificante regresa a tierra a través de la impedancia de entrada del amplificador. Si descartamos cualquier resistencia interna del

cuerpo, podemos calcular el potencial del cuerpo, en ocasiones llamado **potencial de modo común** (V_{CM}). No se toman en cuenta las corrientes que lleguen a los cables.

$$V_{CM} = I_D Z_G \quad (10)$$

Este potencial de modo común que aparece en las entradas A y B de nuestro amplificador diferencial en forma simultánea no debe aparecer en el ECG. Si suponemos un máximo de I_D de $1 \mu\text{A}$ y una impedancia muy alta en el electrodo de tierra Z_G de $100 \text{ k}\Omega$, el valor máximo del potencial V_{CM} que aparecerá en el cuerpo será de:

$$(1 \times 10^{-6}) (1 \times 10^5) = 0.1 \text{ V.}$$

Este es el mismo valor mencionado por la Asociación Norteamericana de Cardiología (AHA, por sus siglas en inglés, American Heart Association) [12]. Afortunadamente es más probable que se encuentren valores entre 1 y 10 mV en una situación característica de registro clínico. Pero, entonces, ¿qué problema puede causar el potencial V_{CM} , suponiendo que nuestro amplificador cumple con las especificaciones? (Estas se discutirán más adelante.) Al describir la corriente de desplazamiento en el cuerpo, originalmente descartamos las impedancias internas del cuerpo. Debido a que éstas son finitas, cualquier corriente que fluya a través del cuerpo lo hará a través de las impedancias del cuerpo, causando una caída de potencial. Para estos fines, el cuerpo humano se representa como un muñeco, con resistores en sus brazos, piernas y tronco. Véase la Fig. 6. Las magnitudes de estos resistores (impedancias) son pequeñas en comparación con la impedancia que se forma entre el electrodo y la piel. Por lo general, la impedancia es de 20 ohmios en el tronco, y puede llegar a ser hasta de 400Ω del hombro hasta el dedo. Esta impedancia se llama en ocasiones impedancia subcutánea. Debido a que el cuerpo tiene una impedancia (finita, las corrientes de desplazamiento que entran al cuerpo a través de los brazos, piernas y tronco harán que diferentes partes del cuerpo tengan un potencial ligeramente diferente. Si ahora conectamos nuestros electrodos, las diferencias de potencial entre un punto del cuerpo y otro serán amplificadas en el electrocardiógrafo. Podemos representar esta diferencia de potencial por el flujo de la corriente de desplazamiento a través de la impedancia interna Z_I entre los puntos de contac-

to de los electrodos. Véase la Fig. 7. La interferencia máxima posible estaría dada por:

$$V_{ac} = Z_I I_D \text{ (en el cuerpo)} \quad (11)$$

Para que V_{ac} no rebase la magnitud máxima aceptada (criterio) del 1% ($10 \mu V$), suponiendo que I_D sea tan sólo de un décimo del valor que habíamos supuesto anteriormente, Z_I deberá ser igual a:

$$Z_I = \frac{V_{ac}}{I_D} = \frac{10 \times 10^{-6} V}{0.1 \times 10^{-6}} = 100 \Omega \quad (12)$$

Este valor puede ser fácilmente excedido cuando los electrodos se colocan en las extremidades (brazos, piernas). Sin embargo, en general, esta interferencia será menor que el valor máximo que se mencionó antes, puesto que I_D no fluye directamente a través de Z_I . Por consiguiente, sólo un componente proyectado de I_D resulta en interferencia. Colocando los electrodos muy próximos entre sí debe disminuir la impedancia entre los electrodos y eliminar la interferencia causada por este factor. Esta es la situación que se presenta cuando los tres electrodos de las derivaciones se colocan sobre el esternón o en los registros del electroencefalograma (EEG), donde los electrodos se tienen que colocar muy próximos y por consiguiente quedan en áreas de igual potencial. Pero aún, si los electrodos se colocaran muy separados, las diferencias de potencial en los dos puntos pueden ser los mismos con respecto a tierra, de tal manera que esta posible interferencia va a aparecer diferencialmente, por lo tanto, se anula. En otras palabras, la posición del electrodo de tierra dicta por cuál vía va a fluir la corriente de desplazamiento hacia tierra y qué diferencias de potencial van a aparecer en cada electrodo. Esto debe permitirnos también eliminar este factor, cambiando la posición del electrodo de tierra.

Prueba. Para determinar si la no-simetría de la diferencia de potencial en el paciente representa un problema, simplemente mueva el electrodo de tierra (por lo general el electrodo de la pierna derecha) a otra posición. La disminución de la interferencia demuestra la identificación de por lo menos una parte del problema.

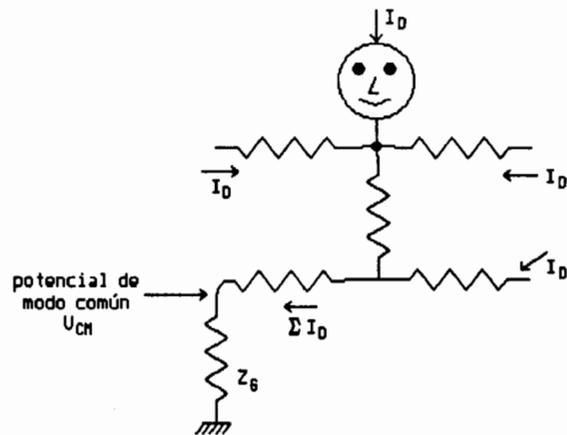


Figura V(C)-6. Modelo que ilustra la resistencia interna del cuerpo y las corrientes de desplazamiento que fluyen hacia tierra, teniendo conectado un electrodo a tierra.

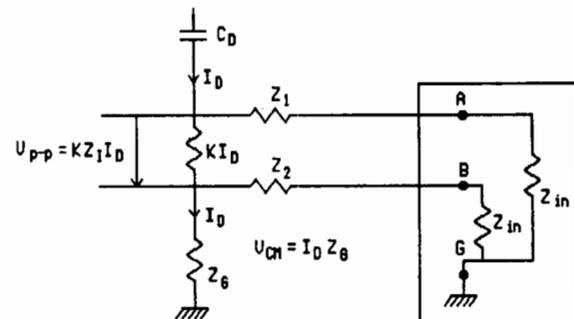
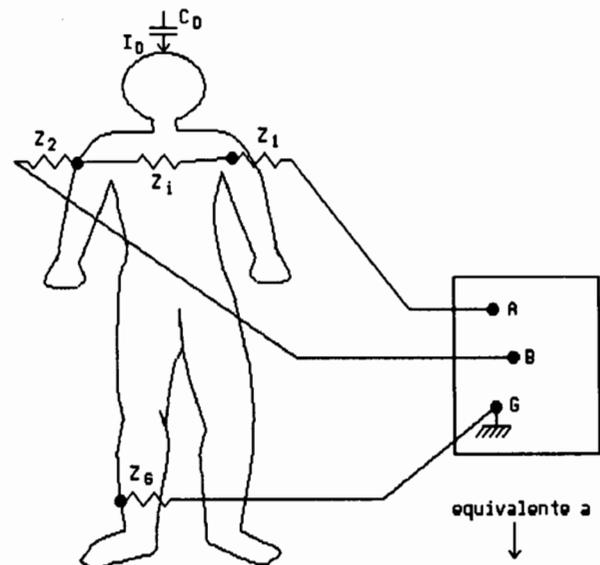


Figura V(C)-7. Modelo simplificado de las corrientes de desplazamiento hacia el cuerpo. K es una fracción entre 0 y 1.0. I_D es la suma de todas las corrientes de desplazamiento que entran al cuerpo.

Solución. Si al cambiar de posición el electrodo a tierra se disminuye la interferencia, considere registrar el ECG del paciente con esta nueva posición del electrodo. Esto de ninguna manera cambiará la magnitud o la forma del ECG. Nuestros experimentos han mostrado que si el electrodo a tierra de la pierna derecha causa problemas de interferencia, la mejor alternativa para colocar este electrodo es el estómago o el tórax. La posición alternativa del electrodo a tierra depende de la configuración y de la vía a través de la cual la interferencia está entrando al cuerpo. Por ejemplo, la Fig. 8 muestra el registro en la derivación II del ECG, en la cual la corriente de desplazamiento se incrementó colocando la mano derecha cerca de un cable de suministro de fuerza de CA. El trazo superior corresponde a la derivación II normal con el electrodo a tierra en la pierna derecha y el trazo inferior muestra la menor interferencia cuando el electrodo a tierra de la pierna derecha se movió a la parte derecha del tórax. Es importante mencionar que en nuestro medio, este tipo de generación de interferencias a veces es difícil de detectar, ya que el técnico al estar haciendo los registros coloca un ventilador o una lámpara en el área circunvecina, que, naturalmente, ya no se encuentran ahí cuando el técnico va a revisar el equipo.



Figura V(C)-8. Registros ECG en derivación II. Trazo superior, pierna derecha con mal contacto a tierra e incremento de la corriente de desplazamiento. Trazo inferior, tórax a tierra. Nótese que no hay cambio en la forma de las ondas del ECG, pero disminuye la interferencia.

Otra posible solución, sugerida por Schmitt [15], es cubrir al paciente con una cobija conductiva conectada a tierra para evitar la entrada de corrientes de desplazamiento al cuerpo.

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA DE REGISTRO Y DEL ELECTROCARDIOGRAFO

Primero analizaremos cómo la interconexión entre el equipo y el paciente podría causar interferencia. Luego analizaremos las especificaciones del amplificador y nuestras recomendaciones para eliminar la interferencia de CA. Finalmente, analizaremos los nuevos desarrollos para el registro de biopotenciales y cómo se relacionan con la seguridad del paciente y los factores que generan interferencia discutidos hasta ahora.

Interconexión del equipo

Con el incremento en el uso de catéteres conductivos internos para el control de los pacientes en las unidades de cirugía o de cuidados coronarios, pequeñas corrientes de fuga podrían causar fibrilación ventricular. Se considera como un máximo de seguridad aceptar cuando mucho una corriente de fuga de $10 \mu\text{A}$. En algunos casos, solamente un aumento en las interferencias podría ser la única indicación de la existencia de riesgos. Una forma de cómo puede ocurrir esto es que se rompa el tercer cable, el de tierra, del instrumento o que no esté conectado dentro del contacto o que se haya sustituido la clavija tripolar por una de dos polos. La corriente de fuga puede producir que el receptáculo (gabinete) del instrumento adquiera una elevada diferencia de potencial.

Si existe una diferencia de potencial entre dos aparatos, ésta puede aparecer en el ECG. Esto también puede ocurrir si el paciente se encuentra a tierra en dos instrumentos que estén conectados a diferentes contactos de toma corriente.

Esto es más grave en los países latinoamericanos, donde todavía no se establece la norma técnica que asegure que todos los contactos se "alambren" igual, es decir, que siempre un polo sea igual en todos los contactos. Los electricistas no ponen atención a esto, porque dicen que se trata de corriente alterna que va cambiando de polaridad; precisamente por

eso, el cambio debería ser igual en todos los aparatos que en un momento dado se conectan a un paciente. Además, todavía no se establece el requisito de poner tierra física en todos los contactos.

Un problema de interferencia menos peligroso podría presentarse si el ECG se "monitorea" a control remoto y el instrumento de control remoto tiene un potencial de tierra diferente al de la unidad principal. Un ejemplo de esta situación es un osciloscopio monitor a control remoto conectado al amplificador de registro, pero conectado a un contacto diferente. Una falla en cualquier parte del circuito eléctrico hace que la corriente de fuga fluya por el circuito de regreso a tierra. Esta corriente que fluye a través de la resistencia del cable de conexión a tierra entre los instrumentos produce una diferencia de potencial que aparece en el ECG. Al respecto, es frecuente que se le informe al técnico, diciéndole: "todo va bien hasta que se conecta el monitor, o el aspirador de flemas, o la bomba de respiración", etcétera.

Al conectar más de un instrumento con tierra diferente a un paciente puede también producirse una malla a tierra (consulte el apéndice anterior respecto a este concepto). Los campos magnéticos de CA pueden inducir una diferencia de potencial en la malla que puede aparecer en el paciente y en el ECG.

Estos defectos pueden solucionarse mediante los siguientes procedimientos.

- 1) Verificación periódica de la continuidad del cable a tierra de todos los equipos.
- 2) Conecte a tierra en un solo punto del cuerpo todos los aparatos conectados al paciente. Verifique los potenciales a tierra de todo los equipos y los circuitos de regreso entre sí, empleando un voltímetro de CA capaz de detectar una diferencia de 10 mV.
- 3) Utilice un tablero común para conexión a tierra para todos los contactos que se empleen en una situación de registro.

Como con cualquier instrumento, la interferencia de CA en la salida podría ser una falla en la fuente de poder o debida a una filtración deficiente. Esta interferencia se presentaría siempre que el instrumento esté funcionando.

Especificaciones

En 1967, el Comité de Electrocardiografía de la AHA revisó sus recomendaciones sobre equipo de ECG [12]. Algunas de las especificaciones relevan-

tes a este apéndice se dan más adelante y se aplican a los ECGs de inscripción directa.

Impedancia de entrada 500,000 Ω entre cualquiera de los electrodos colocados en el paciente y tierra.

Relación de Rechazo del Modo Común (CMRR, por sus siglas en inglés): 1,000 a 1 entre 45 y 65 Hz y con desbalance en el conector de 5,000 Ω . Frecuencia de respuesta: ± 0.5 dB de 0.14 a 50 Hz; ± 3 dB de 0.05 a 100 Hz.

Impedancia de entrada

La impedancia de entrada ha sido representada aquí como la impedancia de entrada de modo común (Z_{CM}) y la impedancia de entrada diferencial (Z_D) a 60 Hz. La impedancia Z_{CM} es la impedancia medida entre tierra y las dos entradas A y B cuando se conectan juntas. Este valor va a ser igual a $Z_{in}/2$ para la configuración que estamos usando. La impedancia de entrada diferencial Z_D será el valor medido entre las entradas A y B. Queremos que Z_D sea lo suficientemente grande de manera que no exista efecto de carga en el potencial diferencial. [NOTA: Se ha mantenido la expresión "in" (input) y CM (Common Mode), para expresar "entrada" y "Modo Común" debido a su uso frecuente.]

Cuando se registró por primera vez el ECG, los electrodos consistían en recipientes con solución salina (grandes cubetas donde el sujeto introducía las extremidades). Esta área tan grande de electrodo-epiel era necesaria para disminuir el valor de la impedancia electrodo-tejido, de manera que fuese pequeño en comparación al bajo valor de la impedancia de entrada del galvanómetro de cuerda utilizado en ese tiempo. La impedancia del electrodo debe mantenerse pequeña para no reducir el potencial cardiaco o se diferencie produciendo distorsión de las ondas [8]. A medida que la instrumentación del ECG mejoró, desde los tubos al vacío hasta los transistores y amplificadores operacionales, la impedancia de entrada que podía obtenerse era mucho mayor que la impedancia del electrodo, aun usando un electrodo pequeño.

La impedancia de entrada CM debe ser grande en comparación con la impedancia del electrodo para minimizar los efectos de un desbalance en la impedancia de los electrodos. Recordemos que el cuerpo tiene algo de diferencia de potencial V_{CM} . Un desbalance severo en la impedancia de los electrodos o en la de entrada hará que la diferencia de potencial sea mayor en una entrada que en la otra.

Llamaremos a este fenómeno el **Efecto divisor de potencial** [13]. Podemos calcular qué valor de Z_{in} es necesario para que un desbalance de hasta 5,000 Ω no produzca interferencia mayor del 1% (criterio de aceptación). El potencial diferencial de CA es el potencial V_{CM} multiplicado por la diferencia entre las relaciones del divisor de potencial (véase la Fig. 5):

$$V_A = V_{CM} \left[\frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_1} \right]$$

y

$$V_B = V_{CM} \left[\frac{Z_{in}}{Z_{in} + Z_2} \right] \quad (13)$$

$$Z_{in} = Z'_{in} = Z''_{in}$$

$$V_A - V_B = V_{CM} \left[\frac{1}{Z_1 + Z_{in}} \right] - \left[\frac{1}{Z_2 + Z_{in}} \right]$$

$$= V_{CM} Z_{in} \left[\frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 Z_2 + Z_{in}(Z_1 + Z_2) + Z_{in}^2} \right] \quad (14)$$

Suponiendo que Z_1 y Z_2 son mucho menores que Z_{in}

$$V_A - V_B = V_{CM} \left[\frac{Z_2 - Z_1}{Z_{in}} \right] \quad (15)$$

Resolviendo para Z_{in} , encontramos:

$$Z_{in} = \frac{V_{CM}}{V_A - V_B} [Z_2 - Z_1] \quad (16)$$

Sabemos que $V_A - V_B$ debe ser menor de $10 \mu V$ y podemos usar el valor promedio del potencial V_{CM} que usamos con anterioridad (10 mV).

Entonces el valor mínimo de Z_{in} para evitar la interferencia es:

$$Z_{in} = \frac{10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} (5 \times 10^3) = 5 \text{ M}\Omega \text{ a } 60 \text{ Hz}$$

$$Z_{CM} = Z_{in}/2 = 2.5 \text{ M}\Omega \quad (17)$$

Un valor de Z_{in} de 50 $\text{M}\Omega$ sería adecuado para potenciales V_{CM} hasta de 100 mV o un desbalance de impedancias hasta de 50,000 Ω , los cuales son valores que difícilmente se encuentran en las condiciones de registro en seres humanos excepto en situaciones de potenciales elevados de CA como los que se presentan durante la electrocauterización. Ambas impedancias de entrada Z_{in} se consideraron iguales en la discusión previa. Si las dos impedancias Z'_{in} y Z''_{in} fueran diferentes, las relaciones de los divisores de potencial serían desiguales. La ecuación más general es:

$$V_A - V_B = V_{CM} \left[\frac{Z'_{in}}{Z'_{in} + Z_1} - \frac{Z''_{in}}{Z''_{in} + Z_2} \right] \quad (18)$$

Con anterioridad encontramos que la relación $(V_A - V_B/V_{CM})$ tenía que ser menor de 0.001 para limitar la interferencia a 1%.

Aún si $Z_1 = Z_2 = 10 \text{ k}\Omega$ (impedancia balanceada del electrodo) podemos tener problemas. Si $Z'_{in} = 5 \text{ M}\Omega$ y $Z''_{in} = \infty$ (impedancia de entrada no balanceada) podemos calcular cuánta interferencia va a resultar con un V_{CM} de 10 mV.

$$V_A - V_B = V_{CM} \left[\frac{5}{5.01} - 1 \right] = V_{CM} 0.002 \quad (19)$$

Para este caso, con impedancias de entrada mayores de 5 $\text{M}\Omega$, obtenemos una interferencia de CA de 2%. Valores mayores de Z_1 producirían interferencias mayores.

Podemos también calcular el valor de la impedancia de entrada diferencial Z_D , de tal manera que la magnitud de la señal no se reduzca en más de 5%. Este valor también se relaciona con distorsiones en la forma de onda como resultado de una impedancia de entrada baja. Para este criterio, Z_D debe ser 20 veces la suma de las impedancias de los electrodos. Suponiendo que Z_1 y Z_2 sean cada una de 10,000 Ω , Z_D deberá ser de por lo menos 400,000 Ω . Strong [14] estableció que es deseable un valor bajo de Z_D

para neutralizar los potenciales del electrodo. Nuestras mediciones han mostrado que excepto para electrodos muy pequeños, ésta es una consideración dudosa, puesto que tomaría días descargar estos potenciales a través de un resistor de 2 MΩ como se sugirió. La mayoría de los amplificadores están contruidos para manejar 100 mV de CD sin saturarse, de tal manera que estos potenciales no representan un problema.

Debemos recordar también que la impedancia de entrada Z_{in} está especificada a 60 Hz, y por consiguiente cualquier capacitancia a tierra en la entrada va a disminuir su valor. Por ejemplo, si la resistencia de entrada es de 7 MΩ, y colocamos un capacitor de 380 pF ($1 \text{ pF} = 10^{-6} \text{ F}$), el cual tiene una impedancia de aproximadamente 7 MΩ a 60 Hz, en paralelo con cada entrada, la Z_{in} efectiva se reducirá a 5 MΩ. Si se emplean cables aislados para los cables de los electrodos, la longitud máxima que puede ser usada estará limitada por la capacitancia distribuida del cable. Este valor es por lo general de 30 pF/30.5 cm (30 pF/1 pie) de tal manera que su capacitancia no debe, normalmente, degradar excesivamente la impedancia de entrada, siempre y cuando los cables sean menores de 36.60 cm (12 pies). En la mayoría de los equipos en uso, actualmente, prevalecen capacitancias de entrada fijas en el rango de 470 pF. Estos capacitores están diseñados para eliminar la interferencia de RF, pero podrían también introducir problemas de interferencia al degradar la impedancia de entrada. El filtro de RF mencionado previamente [2] emplea un total de 1,000 pF en cada entrada a tierra. La impedancia de esta capacitancia a 60 Hz es menor de 3 MΩ, y esto disminuye la impedancia de entrada del amplificador.

Las consideraciones para las especificaciones del amplificador son diferentes cuando se emplean redes promediadoras (ponderadoras) tales como las que se usan en las derivaciones aVR, aVL, aVF y precordiales (V) en la mayoría de los equipos convencionales de registro. La configuración de terminal central Wilson (derivaciones V) requiere resistores promediadores de por lo menos 333 kΩ en cada uno de los tres cables conectores promediadores para cumplir con las especificaciones de la AHA de 500 kΩ a tierra en cada electrodo con el otro conectado a tierra. Este resistor en cada cable evita la degradación del potencial eléctrico que está siendo promediado. Un resistor compensador, igual a la combinación paralela de los resistores promediadores, se requiere en el otro cable para balancear la

entrada (en este caso, 111 kΩ). Esta elevada impedancia en serie con las entradas aumenta considerablemente los requerimientos para Z'_{in} y Z''_{in} , si no son iguales. La ecuación (18) ahora se convierte (en el peor caso):

$$V_A - V_B = V_{CM} \left[\frac{Z'_{in}}{Z'_{in} + 111 \text{ k}\Omega} - 1 \right] = 0.001 \quad (20)$$

Resolviendo para Z'_{in} encontramos que ésta debe ser mayor de 111 MΩ. Note que ahora Z_1 y Z_2 representan cualquier impedancia en serie con los cables de entrada. Para este caso, Z'_{in} y Z''_{in} deben ser mayores de 111 MΩ para limitar la interferencia causada por el efecto de potencial divisor a 1 %. Podemos enfocar el problema del diseño del amplificador en diversas formas. Sabemos que una impedancia de entrada mayor de 5 MΩ permitirá registrar el ECG en derivación I, II y III sin interferencia de CA causada por el efecto de potencial divisor. Las configuraciones aVR, aVL, aVF (derivaciones unipolares de las extremidades) y las derivaciones V (precordiales) requieren ya sea: 1) una Z_{in} muy elevada, mediante un cuidadoso diseño del amplificador [14], 2) un dispositivo acoplador de impedancia tal como un amplificador amortiguador (buffer), antes de los resistores promediadores, lo que permitirá emplear resistores promediadores de menores valores [15], ó 3) algún método, como por ejemplo, pier-na derecha "activada" con valor ajustable (que se verá más adelante) que cancele en forma efectiva el voltaje V_{CM} , el cual está causando el problema.

Relación de rechazo de modo común (CMRR, por sus siglas en inglés)

La ganancia diferencial de un amplificador de biopotenciales es la relación entre el potencial de salida y el de entrada a una frecuencia específica con una entrada derivada a tierra.

$$A_D = \frac{V_{out} \text{ (salida)}}{V_{in} \text{ (entrada)}} \quad (21)$$

(NOTA: Se deja la designación de "out" para salida y de "in" para entrada por la frecuencia de su uso.)

Este factor de amplificación por lo general es ajustable entre 200 y 2,000 para registros ECG. La

ganancia de Modo Común es la relación entre el potencial de salida y el de entrada, cuando ambas entradas se encuentran sin derivar a tierra y están conectadas juntas. Para un amplificador diferencial, esta ganancia debería ser cero puesto que sólo deseamos amplificar la diferencia entre las entradas.

$$A_{CM} = \frac{V_{out} \text{ (salida)}}{V_{in} \text{ (entrada)}} \text{ --- entradas conectadas juntas} \quad (22)$$

La relación entre estos dos factores de amplificación se denomina la CMRR de un amplificador:

$$CMRR = \frac{A_D}{A_{CM}} = X \quad (23)$$

Se define como la relación de la amplitud del potencial de modo común (V_{CM}) con respecto a una señal diferencial equivalente que produciría la misma salida [14]. Idealmente, la CMRR debería ser infinita. Por lo general, se expresa en decibeles:

$$CMRR_{dB} = 20 \log X \quad (24)$$

Si de nuevo suponemos un potencial V_{CM} de 10 mV en el cuerpo y sin desbalance en la impedancia del electrodo, podemos calcular la CMRR mínima para nuestra tolerancia de interferencia.

$$CMRR_{mín} = \frac{10 \times 10^{-3}}{10 \times 10^{-6}} = 1000 \text{ a } 60\text{Hz} \text{ ó } 60\text{dB} \quad (25)$$

Debería ser obvio que tenemos que especificar la impedancia de entrada y la CMRR de un amplificador. Cualquier desbalance en la impedancia del electrodo reducirá la CMRR "efectiva", debido al efecto del divisor de potencial, pero trataremos estas variables en forma independiente. Sus contribuciones son:

$$V_{ac} = Z_{GID} \left[\frac{1}{X} + \frac{Z_2 - Z_1}{Z_{in}} \right] \quad (26)$$

Donde Z_{GID} es el potencial de modo común (V_{CM}) previamente definido. La frecuencia a la cual

se mide CMRR debe especificarse, ya que ésta es una función de la frecuencia. Las especificaciones mínimas para la interferencia sin redes de promediación son las siguientes:

Impedancias de entrada:
diferencial 400,000
CM 2.5 M Ω
CMRR 60 dB a 60 Hz con un desbalance de 5,000 Ω .

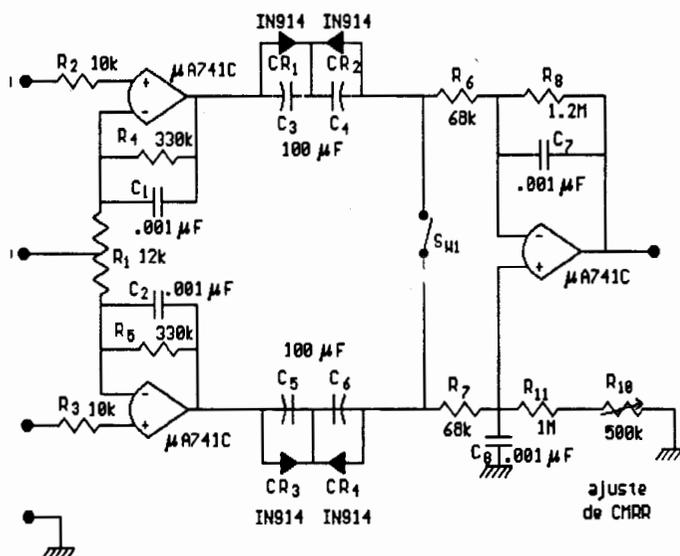


Figura V(C)-9. Circuito del amplificador de ECG empleado en estas mediciones. El punto 1 es el lugar donde se mide el potencial de modo común para el circuito de aislamiento o activación en la pierna derecha.

Frecuencia de respuesta

La frecuencia de respuesta de un amplificador está determinada por sus constantes de tiempo RC. El circuito para el amplificador de ECG que nosotros empleamos se ilustra en la Fig.9. Emplea tres amplificadores operacionales en una configuración estándar de instrumentación. Los componentes relativamente baratos y el mínimo de circuitos requerido lo hacen muy atractivo. La Compañía Fairchild Semiconductor [16] ha sugerido un amplificador ECG del tipo que se ilustra en la figura 9, el cual se discute en lo que sigue. Los diodos CR_{1-4} a través de los capacitores de 100 μF son necesarios debido a que los capacitores polarizados no funcionarán correctamente si el potencial de CD que los atraviesa cambia de polaridad. Los diodos protegen a los capacitores conduciendo cuando se

presentan potenciales de CD elevados, lo cual puede ocurrir cuando las etapas de entrada se saturan o salen de esa saturación.

La constante de tiempo de baja frecuencia se determina por $C_3/2$ multiplicado por R_6 y es de 3.3 segundos. La frecuencia de corte es $1/2\pi = 0.05$ Hz. La respuesta de frecuencia elevada es atenuada dos veces. El primer corte está determinado por R_4C_1 y R_5C_2 . El segundo corte está determinado por R_8C_7 y $(R_{11} + R_{10}) \times C_8$. R_{10} balancea cualquier asimetría del circuito y realiza los ajustes necesarios para una CMRR máxima. Este amplificador cumple con los requerimientos de la AHA en cuanto a frecuencia de respuesta, la cual es 0.05-100 Hz. Desde luego que el graficador necesario para el registro en papel limitará, por lo general, la frecuencia de respuesta a menos de 100 Hz. El interruptor SW1 fue incluido para reajustar rápidamente la línea basal cuando el amplificador se sature.

Otros circuitos y modificaciones

Ahora examinaremos algunas de las técnicas que se emplean, o pueden emplearse, en una situación de registro para eliminar la interferencia.

Filtros de 60 Hz. Es claro que las técnicas apropiadas de manejo y el diseño adecuado del equipo pueden eliminar la interferencia de los registros de ECG. Los filtros no deben ser necesarios excepto en situaciones extremas, pero si se utilizan debe anotarse en el registro las condiciones de su uso para evitar errores en el diagnóstico.

Preamplificadores en las cercanías de los electrodos. Diversos autores sugieren el uso de preamplificadores (llamados también amplificadores de amortiguación o seguidores de cátodo) [4, 6, 7, 9, 15, 20]. La ventaja de éstos es la reducción de la interferencia ya que cancelan los efectos del desbalance en la impedancia de los electrodos. Cuando analizamos el problema que representa el uso de las redes de promediación, encontramos que podíamos usar amplificadores individuales de amortiguación para las tres derivaciones promediadoras en lugar de diseñar un amplificador que tenga por lo menos una impedancia de entrada de $111 \text{ M}\Omega$. Estos podrían colocarse en el amplificador de ECG y evitarían la interferencia de CA que resulta del efecto del divisor de potencial. Montar los amplificadores de amortiguación en los electrodos parece ser una solución demasiado costosa. Las razones para usar los amplificadores de amortiguación en los electrodos y

no en el equipo son: 1) eliminación de los efectos producidos al doblarse o moverse los cables, para aumentar la longitud del cable aislado de la derivación, y 2) eliminación de la interferencia causada por corrientes de desplazamiento que llegan a los electrodos. La impedancia de entrada del amplificador diferencial puede ser mucho menor empleando amplificadores de amortiguación o catodino porque la impedancia de salida del amortiguador es del orden de 1Ω , lo cual hace insignificante cualquier desbalance. Las elevadas impedancias de entrada de los amplificadores de amortiguación resuelven el problema del efecto del divisor de potencial, tal como se ilustró anteriormente, al aumentar la impedancia de entrada efectiva del amplificador, Z_{in} . Sin embargo, se debe tener presente que estos preamplificadores podrían introducir mayor interferencia de la que eliminan si la ganancia de potencial de uno fuese ligeramente diferente de la del otro. Si suponemos un potencial V_{CM} de 10 mV, un par de estos preamplificadores montados en los electrodos o en el equipo deben acoplarse a 0.1% para que coincida con nuestro criterio del 1% máximo de interferencia permisible. Existen ya estos amortiguadores de ganancia unitaria. Se ha propuesto el uso de electrodos aislados con preamplificadores para monitoreos de larga duración [9,17]. La impedancia en la interfase de este tipo de electrodo-tejido es mucho más elevada que con los electrodos convencionales, de tal manera que debe proporcionarse una impedancia de entrada muy elevada ya sea en el electrodo o en el amplificador. Nosotros no hemos probado este tipo de electrodos.

Circuitos de blindaje -Entrada y Aislamiento- Esta técnica muestrea el potencial V_{CM} dentro del amplificador y activa las entradas y/o los blindajes de los cables de los electrodos a través de un seguidor de cátodo [14, pág. 302]. La activación efectiva de las entradas aumenta la impedancia de entrada del amplificador, pero si el amplificador ya tenía una impedancia de entrada suficientemente elevada no se obtiene ninguna mejoría. Activar los blindajes cancela los efectos de cualquier capacitancia entre los aislantes y los cables internos a 60 Hz. Esto puede mejorar la impedancia de entrada de un amplificador si los cables son muy largos, pero de otra manera es mejor simplemente derivar a tierra los blindajes. Tal como los preamplificadores, estos circuitos mejoran las especificaciones de entrada de un amplificador para reducir el efecto del divisor de potencial.

Pierna derecha activada [18]. En esta modificación también se muestrea el potencial de modo común (V_{CM}) dentro del amplificador. Véase la figura 10. En lugar de derivar la conexión de la pierna derecha del paciente a tierra, el electrodo se conecta, a través de un resistor limitador de corriente, a un amplificador, el cual incrementa el potencial V_{CM} . Este circuito en realidad impulsa una pequeña cantidad de corriente hacia la pierna derecha para igualar las corrientes de desplazamiento que fluyen por el cuerpo. El cuerpo es la unión que realiza la suma en una malla de retroalimentación, de tal manera, que el efecto es disminuir el potencial V_{CM} del cuerpo a un valor muy bajo. El amplificador está diseñado para saturarse a corrientes mayores de $2 \mu A$ para minimizar los peligros de un choque eléctrico. El paciente se aísla de tierra mediante un resistor de $5 M\Omega$. Este es probablemente el mejor método para eliminar la interferencia del potencial V_{CM} . Es aparente su aplicación para registros de EEG donde las tolerancias de interfase son mucho menores. Nosotros consideramos que en lugar de usar amplificadores con elevadas impedancias de entrada o amplificadores de amortiguación para eliminar la interferencia de CA causada por el efecto del divisor de potencial, una mejor solución es usar el esquema de la pierna derecha activada, el cual requiere tan solamente de un amplificador adicional. Recuerde que los otros factores pueden aún causar interferencia aunque se eliminen los efectos del potencial V_{CM} .

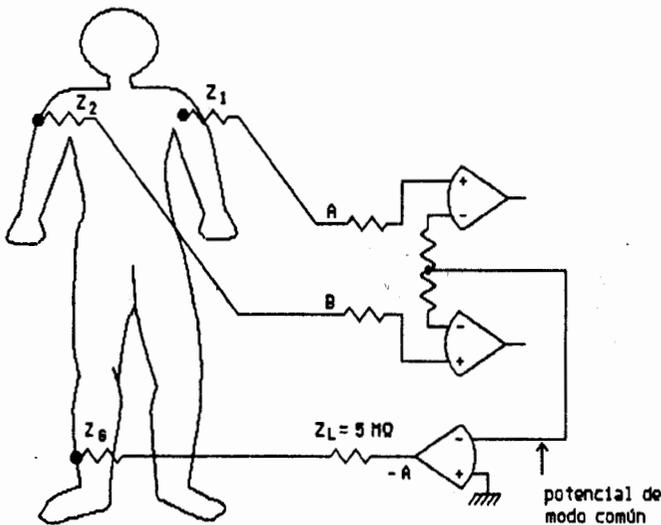


Figura V(C)-10. Configuración de pierna derecha activada.

Sin embargo, los amplificadores de amortiguación pueden ser aún preferibles en aquellos casos en los cuales la impedancia del electrodo es elevada. En estos casos, el problema no es la interferencia sino la distorsión de la señal. Una proporción apreciable de la señal disponible aparece a través del electrodo, y menos de la amplitud deseada aparece en el amplificador.

Entrada aislada. Un neófito en el registro del ECG podrá preguntarse por qué es necesario conectar a tierra al paciente si tan sólo queremos medir la diferencia de los potenciales cardiacos en diferentes sitios. La respuesta es que la tierra no es necesaria. Los avances recientes han permitido que no sólo el amplificador de ECG sino también la fuente de poder se puedan aislar completamente del paciente y del circuito de entrada [18,19]. Esto reduce cualquier corriente de fuga proveniente del equipo de ECG. Si el paciente no está derivado a tierra por otra vía no habrá retorno de las corrientes de desplazamiento al cuerpo. Este tipo de amplificador no tiene electrodo de tierra conectado al paciente y se está volviendo muy popular debido a que proporciona seguridad al paciente. Tal como con el uso de la radiotelemedría solamente se requieren dos electrodos, lo cual es mucho más conveniente. Si el paciente se conecta a tierra, ya sea accidentalmente o a propósito, el amplificador no verá el potencial V_{CM} . Este método será sensible a potenciales diferenciales en el cuerpo debido a las corrientes de desplazamiento que fluyen a través de la resistencia interna del cuerpo y por la inducción magnética.

EJEMPLO

A continuación proporcionamos un ejemplo de cómo las variables descritas en este trabajo pueden ser aplicadas a una situación poco usual de registro. Deseábamos encontrar una configuración poco costosa para la lectura rápida de los ECG tomados de un gran número de personas. Este tipo de prueba rápida y portátil podría ser empleada para registrar el ECG de todas las personas en un pueblo o de todos los niños de una escuela primaria en un tiempo corto. La configuración que se ilustra en la figura 11 se probó por primera vez en una exposición para mostrar los ECG del público visitante. El aparato consiste en un amplificador de ECG, un osciloscopio y tres electrodos de plata-cloruro de plata montados en pequeños recipientes con solución salina al 1%. Cada persona colocaba las puntas de los dedos en

los recipientes y podía observar inmediatamente su propio ECG en el momento real.

Este sistema no fue completamente satisfactorio puesto que además de los potenciales producidos por los músculos, normales en cualquier ECG tomado de las manos, había también una elevada interferencia y algunas radiaciones esporádicas de otros equipos que afectaban la forma de onda del ECG. La interferencia fue de aproximadamente 200 mV en la entrada del amplificador. Esto es 20 veces mayor que nuestro criterio del 1%. Procedimos entonces a aplicar las pruebas rápidas descritas en este trabajo para aislar y solucionar el problema.

Primero, consideramos la interferencia por inducción magnética. El área de la malla, en este caso, fue S, indicada en la figura 11. Los cables de los electrodos A y B se enrollaron y se llevaron juntos para hacer el área lo más pequeña posible, como se ilustra en la figura 12. La interferencia disminuyó a 160 μ V. Luego colocamos tres dedos de una mano en los tres recipientes para probar la existencia de corrientes que estuvieran entrando en los cables y encontramos que la salida estaba libre de interferencia. A pesar de ello se aislaron los cables de los electrodos para evitar problemas causados por los campos electromagnéticos (había una estación de radio aficionados funcionando en las cercanías). Luego verificamos si las corrientes de desplazamiento que pudieran estar entrando al cuerpo estaban causando el problema. La sustitución del recipiente derivado a tierra por un electrodo estándar colocado en el tórax hizo que la interferencia fuese insignificante. Ya que no queríamos usar electrodos que requirieran el quitarse la ropa o usar pasta para electrodos, agregamos un segundo recipiente derivado a tierra en la otra mano.

El problema era la elevada corriente de desplazamiento que fluía a través de la elevada resistencia del brazo, mano y dedo. La segunda tierra, en la otra mano, proporciona otra vía a tierra para esta corriente y balancea la diferencia de potencial producida por la corriente de desplazamiento del cuerpo. Esta configuración ha sido satisfactoria. Podría desarrollarse una mejoría de esta configuración empleando 2 electrodos en lugar de 4 y usando radiotelemetría.

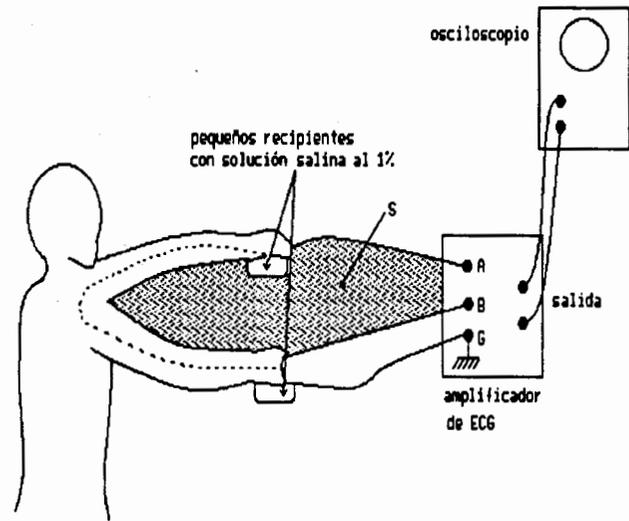


Figura V(C)-11. Configuración poco usual para registrar rápidamente ECG en un gran número de personas.

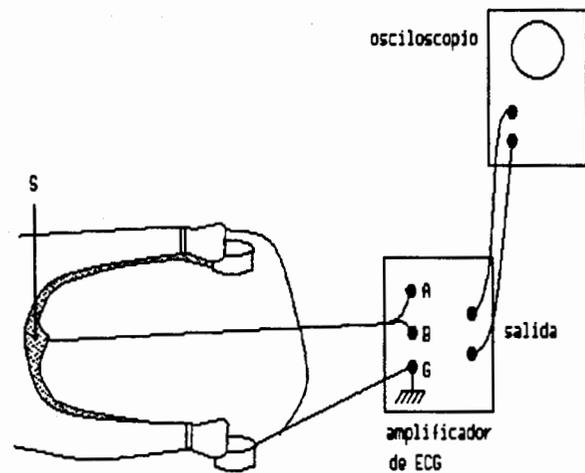


Figura V(C)-12. Configuración mejorada de registro de ECG para reducir la interferencia por 60 Hz.

Por lo tanto la interferencia se puede describir mediante la siguiente ecuación:

$$V_{total} = KBS + I_{D1}Z_1 - I_{D2}Z_2 + K''I_D Z_I$$

inducción ID en los ID en el
magnética cables cuerpo

$$+ I_D Z_G \left[\frac{1}{X} + \frac{Z'_{in}}{Z'_{in} + Z_1} - \frac{Z''_{in}}{Z''_{in} + Z_2} \right] \quad (27)$$

potencial Factor Efecto divisor de
de CA (VCM) CMRR potencial

Es aparente que no todos los factores mencionados en la fórmula No. 27 producen interferencia notable en todas las situaciones cuando se presenta interferencia. Las prácticas de operación y el diseño del equipo determinarán cuáles factores son los más importantes en una aplicación dada. Las pruebas para aislar estos factores están diseñadas para localizar rápidamente la fuente de la interferencia y eliminarla para poder registrar un ECG libre de interferencias.

Concluimos: 1) la inducción magnética es una fuente importante de interferencia, aunque muchas veces no se toma en cuenta, y que puede ser evitada simplemente enrollando los cables de entrada y haciéndolos correr pegados al cuerpo, 2) la interferencia por corriente de desplazamiento en los cables de los electrodos no aislados rara vez representan un problema, a menos que exista un desbalance muy grande en la impedancia de los electrodos o que se coloquen los cables de tal manera que la corriente de desplazamiento en un cable sea mayor que en otro, y 3) la interferencia causada por la colocación asimétrica del electrodo con respecto a potenciales de CA diferenciales en el cuerpo puede reducirse cambiando de posición el electrodo de tierra. Nosotros encontramos que el diseño de pierna derecha activada es el método más económico y seguro para eliminar la interferencia de CA causada por desbalance en la impedancia del electrodo o CMRR del amplificador e impedancia de entrada bajas.

¡No tolere interferencias en sus registros de ECG! Disponga de algo de tiempo para aplicar estas simples pruebas para aislar y solucionar el factor que está causando el problema.

Resumen

Uno de los principales problemas que se presenta al registrar el electrocardiograma (ECG) es la presencia indeseable de interferencia de 60 Hz en la salida. Este Apéndice analiza las numerosas fuentes posibles de interferencia y propociona para cada una de ellas una descripción, una prueba de identificación y la solución. Luego examinamos posibles imperfecciones del equipo y proporcionamos lineamientos para el diseño de amplificadores que ayuden en la evaluación de nuevos desarrollos en el campo de la electrocardiografía. Como un ejemplo ilustrativo, se explica el procedimiento de aislar la

fuentes de interferencia en una demostración en la cual cada participante puede rápidamente ver su propio ECG.

REFERENCIAS

1. Wolbarscht, M.L. and H. Spekreijse. *Advan. Bio-med. Eng. Med. Phys.* 2: 220-230, 1968.
2. Huntsman, L.L. and G.L. Nichols. "A low-cost high-gain amplifier with exceptional noise performance" *IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* (Com. breve) Vol. BME-18: 301-302, jul. 1971.
3. Holt, C.A. *Introduction to Electromagnetic Fields and Waves*. Nueva York, Wiley, 1963, pp. 72, 156.
4. Schwarzschild, M.M., I. Hoffman and M. Kissin. *Amer. Heart J.* 48: 235-248, 1954.
5. Dower, G.E. "Some instrumental errors in circulation electro- cardiography" *Circulation* 28: 483-485, 1963.
6. Spach, M.S., R. C. Barr, J. W. Havstad and E. C. Long. "Skin- electrode impedance and its effect on recording cardiac potentials" *Circulation* 34: 649-656, 1966.
7. Berson, A.S. and H. V. Pipberger. "Skin-electrode impedance problems in electrocardiography". *Amer. Heart J.* 76: 54-525, 1968.
8. Geddes, L. A. and L.E. Baker. *Principles of Applied Biomedical Instrumentation* Nueva York, Wiley, 1968, pp. 239-246.
9. Bergey, C. E., R. D. Squires and W. S. Sipple. "Electrocardiogram recording with pasteless electrodes". *IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* Vol. BME-18: 206-211, mayo 1971.
10. Schmitt, O.H., M. Okajima and M. Blaug. "Electrode impedances" En: *Proc. 1961 Int. Conf. Medical Electronics*, p. 236.
11. Geddes, L.A. and L.E. Baker. "Relationship between input impedance and electrode area". *Med. Biol. Eng.* 4: 439-449, 1966.
12. Kossmann, C.E. "Recommendations for standardization of leads and of specifications for instruments in electrocardiography and vectocardiography: Report of committee on electrocardiography, American Heart Association". *Circulation* 35: 583-602, 1967; también en: *IEEE Trans. Bio-Med. Eng.* vol. BME-14: 60-68, enero 1967.

13. Pacela, A. F.. "Collecting the body's signals" **Electronics 40**: 103-112, 1967.
14. Strong, P. **Biophysical Measurements** Beaverton, Ore.: Tektronix Inc. 1970, pp. 249-267, 1964.
15. Schmitt, O.H. Averaging techniques employing several simultaneous physiological variables". **Ann. N.Y. Acad. Sci. 115**: 952-975, 1964.
16. Giles, J.N. **Fairchild Semiconductor Linear Integrated Circuit Applications Handbook** Fairchild Semiconductor, Mountain View, Calif. pp. 141-142, 1967.
17. Lagow, C.H., K. J. Sladek and P.C. Richardson. "Anodic insulated tantalum oxide electrocardiography electrodes" **IEEE Trans. Bio- Med. Eng. (Corresp.) Vol.BME-18**: 162-164, marzo 1971.
18. "Patient Safety" Med. Electron. Div. Hewlett-Packard Co., Waltham, Mass. Appl. Note AN 718, 1971.
19. "Good circuit practice gets best results from isolation amplifiers" En: **Analog Dialogue**, Analogue Devices. Cambridge, Mass, Vol. 5, p. 12, Abril-Junio 1971.
20. Almasi, J. J. and O. H. Schmitt. "Systemic and random variations of ECG electrode system impedance". **Ann. N.Y. Acad. Sci. 170**: 509-519, 1970.

CAPITULO VI

NO COMPLIQUE MAS SUS PROBLEMAS

El propósito de este capítulo es proporcionar información y sugerencias útiles para evitar complicaciones a la ya de por sí difícil tarea de localización y reparación de fallas. Hay muchos aspectos por presentar y este capítulo sólo puede cubrir algunas acciones específicas que deben ser evitadas. Las cuales se presentarán en un contexto general de cautela. Las principales áreas a considerar son la mecánica, la eléctrica y la de medición.

LA PRIMERA Y MAS IMPORTANTE REGLA es: VER Y PENSAR antes de hacer cualquier cosa.

1. Area mecánica

Durante el desmontaje (desarmado) y ensamblado de un instrumento use la herramienta adecuada para el trabajo que va a realizar. El uso de una herramienta incorrecta puede causar daños que pueden impedir el desmontaje de un tornillo o de un componente, o puede causar daños no visibles, tales como raspaduras o rebabas.

Hay por lo menos tres tipos de tornillos de cruz y, por lo tanto, tres diferentes desarmadores (desatornilladores) ¿Los puede reconocer y usar el desarmador adecuado para cada uno de ellos?

a) Tipo Phillips. Este se identifica porque la entrada de la cabeza del tornillo tiene una base aplanada y el desarmador tiene también una punta aplanada. Este es el más común de los tornillos de cruz.

b) Tipo Pearson. Se ve casi igual que el Phillips, excepto que la entrada de la cabeza del tornillo tiene una base puntiaguda y el desarmador tiene una punta de la misma forma.

c) Tipo "Posi-Drive". La punta del desarmador tiene una curvatura convexa que coincide con la cabeza del tornillo. La cabeza del tornillo se identifica por las líneas extras en las indentaciones. Este tipo de tornillo se usa en los equipos de las Compañías Hewlett-Packard y Tektronix.

Los tornillos y desarmadores vienen en numerosos tamaños. Utilice el desarmador del tamaño adecuado para el tornillo.

Muchas veces el tornillo o la tuerca están demasiado apretados y no aflojan fácilmente. Pueden usarse varias técnicas para aflojarlos.

a) Limpie la cabeza del tornillo. Coloque firmemente un desarmador del tamaño adecuado sobre la

cabeza del tornillo y haga un movimiento rápido con la muñeca; esto a menudo afloja un tornillo que prácticamente era imposible de aflojar.

b) Si aún no se afloja el tornillo, golpee ligeramente el extremo del desarmador con un martillo y trate de nuevo con el movimiento rápido de la muñeca. Aplique torsión sobre el desarmador mientras lo golpea con el martillo.

c) Aplique un aceite penetrante o un disolvente y deje que impregne el tornillo, luego trate nuevamente de aflojar el tornillo.

d) Si el tornillo ha sido sellado con un barniz, esmalte o cualquier otra sustancia, caliente el tornillo con la pistola de soldar y trate de aflojar el tornillo mientras aún está caliente.

Las pinzas de nariz de puntas delgadas no deben utilizarse para aflojar tornillos o como llaves de tuercas. En general, las pinzas no fueron fabricadas para ser usadas como llaves o desarmadores. Esto produce marcas o muescas en las tuercas y tornillos, de tal manera que una llave apropiada ya no se ajusta bien.

Las pinzas diagonales para cortar alambres no deben usarse para cortar alambre de acero o tuercas y tornillos chicos. No están hechas para cortar materiales que sean más duros que las aleaciones de cobre. Existen pinzas especiales para cortar el acero.

Existen numerosas variedades de martillos. Cada uno está diseñado y fabricado para realizar una tarea específica. Algunos martillos están hechos para golpear determinados materiales, acero, y otros para introducir clavos. Utilizar un martillo diseñado para introducir clavos para golpear o amartillar acero es muy peligroso, ya que la cabeza del martillo puede romperse y desprender fragmentos que pueden salir volando. Hay casos de técnicos que han quedado ciegos por el mal uso de un martillo.

Cerciórese de las relaciones físicas de las alineaciones, por ejemplo, entre el mango y la cabeza del martillo, entre la superficie que va a golpear y los puntos de apoyo.

Sea cauteloso al desmontar algo, especialmente si no está familiarizado con el dispositivo. Como se recomendó en el capítulo I trate de tomar notas y hacer esquemas que le permitan aprender y sobre todo recordar que hizo al desmantelar.

Limpie su mesa de trabajo y los alrededores, quitando todo el material, herramientas, equipo, etcétera, que no sean esenciales para el trabajo que se prepara a realizar.

Observe cuidadosamente y piense antes de iniciar el desensamblado. De preferencia aplique el ABCDE "sin tocar nada". Analice qué aparato es, cómo puede funcionar, busque la información y hágase y conteste preguntas tales como:

¿Cómo se desmonta?

¿Qué herramientas requiere?

¿Tiene resortes u otras piezas pequeñas que pueden perderse fácilmente?. Utilice un recipiente pequeño para colocarlos.

Haga una marca en las uniones de las diferentes partes antes de separarlas; esto le permitirá montarlas de nuevo, conservando su alineación original. Esta forma de proceder es especialmente importante cuando se desmontan motores u otros dispositivos con simetría cilíndrica. Tome su tiempo para hacer un esquema en el que marque esas señales que puso y escriba las razones para hacerlo. Esto beneficiará sus actividades al capacitar a otros técnicos.

Al desensamblar un dispositivo es de gran ayuda el colocar las piezas en un área libre de su mesa de trabajo, en el mismo orden en que las va desmontando. La mayoría de los instrumentos pueden montarse adecuadamente usando este método de inversión que, a su vez, le permitirá recordar el orden en que van las diferentes piezas. Insistimos haga esquemas e identifique las partes pregúntese: ¿Cómo deben funcionar? Inspecciónelas, ¿coincide su pensamiento con la situación o características de la pieza?.

Para mayor información sobre los aspectos de seguridad que deben cuidarse en el área mecánica consulte el apartado 3 del Módulo Especial, al final de este manual.

2. Área eléctrica

Hay tres causas principales para los problemas eléctricos que pueden complicar sus dificultades. Estática, Transitorios y Cortocircuitos.

a) **Estática.** La electricidad estática produce muchos más problemas de los que la mayoría de nosotros considera. Una persona promedio tiene una capacitancia de entre 250 a 500 picofaradios. Es muy fácil reunir suficiente carga estática para generar voltajes de 5 a 20 kV. Esto representa un almacenamiento de energía equivalente a 3-100 milijoules. Tanta energía disipada rápidamente en una descarga repentina es suficiente para dañar la mayoría de las

uniones de los semiconductores de baja o mediana potencia. La mayoría de los técnicos están conscientes del hecho de que la electricidad estática puede dañar los dispositivos MOS y CMOS; pero es importante darse cuenta que los dispositivos bipolares, tales como los circuitos integrados TTL, los amplificadores operacionales y los transistores bipolares, también pueden ser dañados.

Aunque esta descarga eléctrica a partir de estática, generalmente destruye los dispositivos MOS, el daño a los dispositivos bipolares no es tan obvio. La descarga, generalmente, produce debilitamiento en la unión, que más tarde fallará bajo voltajes normales o bajo calentamiento "normal" del aparato. Los transistores, a menudo, exhiben betas bajas, inestables o muy poco lineales después de haber sido sometidos a una descarga estática.

La mejor forma de evitar el daño por descarga estática es evitar que se generen diferencias de voltaje.

Almacene y transporte los dispositivos sensibles a la estática en recipientes conductivos. No almacene los circuitos integrados y los transistores en cajas de plástico o envueltos en plástico blanco (poliestireno).

Si es posible, tenga un área de su banco de trabajo provista con superficies conductoras y utilice tapetes conductores en el piso y compruebe que están derivados a tierra.

Provéase de una cinta conductora alrededor de su muñeca o cualquier otro medio que le permita referirse a un potencial de tierra.

La superficie conductora del banco de trabajo, el tapete del piso y el tirante de la muñequera NO DEBEN CONECTARSE directamente a un punto a tierra. LAS CONEXIONES DEBEN HACERSE A TRAVES DE UN RESISTOR DE $1M \Omega$. Este será lo suficientemente bajo para descargar la energía estática, pero lo suficientemente elevado para evitar el riesgo de un choque eléctrico si llega a ponerse en contacto con voltajes elevados dentro del sistema que está revisando.

Cuando maneje circuitos integrados "dual-en-línea" tómelos con los dedos en los extremos de los paquetes. No toque las "patitas" (terminales) a menos que sea necesario.

La electricidad estática es especialmente molesta cuando la humedad relativa se encuentra muy por abajo del 50%.

Otro punto importante es siempre utilizar un cautín de soldar con conexión a tierra.

Aunque un componente (MOS, transistor, etcétera) montado sobre una tarjeta de circuito es generalmente menos sensible a la electricidad estática, éste no es siempre el caso y los semiconductores pueden resultar dañados, aun estando montados sobre una tarjeta de circuitos. Consulte el apéndice A para mayor información sobre este tema.

b) **Transitorios.** Las espigas, u otros voltajes o corrientes transitorias pueden ocasionar falla en el componente. Por lo general, ocurren como resultado de cambios bruscos en los voltajes o corrientes.

No conecte o desconecte los componentes, mientras el circuito esté conectado a la fuente de poder.

No quite o inserte tarjetas de circuito con la electricidad conectada al aparato, inclusive en algunos equipos es aconsejable desconectarlos y **descargar** algunos de los componentes.

Cuídese de los transitorios inductivos. Pueden ser causados por motores, relés, transformadores, etcétera, los cuales pueden no estar provistos de dispositivos para disipar la energía del campo magnético producido al encenderse o apagarse, o cuyos dispositivos de protección no están funcionando bien. En ocasiones deberá blindar esos componentes (consulte el apéndice B del capítulo V).

c) **Cortocircuitos.** Pueden causarse cortocircuitos inadvertidamente al:

Doblar juntos 2 alambres o haciendo corto en dos puntos; al desmontar los paneles; al introducirse una herramienta metálica en un instrumento para llegar a un circuito; al remplazar un componente, o al hacer una medición.

Utilizar una herramienta inapropiada o utilizando incorrectamente una herramienta.

Resbalarse la punta de prueba al hacer una medición.

Desparramar líquido dentro o sobre un instrumento.

Los cortocircuitos accidentales deben evitarse. ¡Sea cuidadoso!

Desconecte la corriente al insertar una terminal de prueba; utilice la terminal de prueba adecuada; no intente medir en las "patitas" de un circuito integrado con una punta de prueba roma o grande. Es muy fácil que resbale o toque simultáneamente dos terminales. No tenga café, té, refresco o cualquier

otro líquido innecesario en la cercanía, cuando esté trabajando con equipo eléctrico o electrónico.

3. Area de mediciones

Los problemas causados durante las mediciones quedan dentro de tres categorías. Herramientas, Mediciones y Técnicas de medición inapropiadas.

Herramientas inapropiadas. Al hacer mediciones es importante utilizar la terminal de prueba adecuada. Por ejemplo, sin la punta adecuada en la terminal de prueba es muy difícil hacer mediciones en la parte posterior de una tarjeta de circuito enrollada en alambre. Además, en muchas tarjetas de circuitos el espacio es muy reducido y es casi imposible evitar el contacto con más de una terminal o con el chasis u otro componente, si no se emplea la punta apropiada.

Use la terminal de prueba apropiada.

Ayúdese con dispositivos tales como un "dip" para hacer mediciones sobre un circuito integrado "dual-en-línea" con lo cual facilitará el acceso a las patitas.

En ocasiones, puede ser necesario soldar una terminal a un punto del circuito para poder hacer una medición. Esto es especialmente cierto si no se cuenta con una tarjeta de extensión.

Las tarjetas y cables de extensión pueden ser útiles. Recuerde que las tarjetas de extensión no tienen claves para asegurar que el lado sobre el cual está montado el componente en el circuito esté en la dirección correcta.

La técnica inapropiada de medición se refiere al hecho de que aunque la medición sea correcta, ésta se hace de tal forma que la falla no es detectada o aparente.

Si la salida de una fuente de poder regulada electrónicamente es medida en ausencia de carga, la salida puede parecer correcta aun cuando exista un corto en la base-emisor del transistor de paso en serie. Para detectar el problema la fuente de poder debe estar cargada.

Las tarjetas de extensión varían las características eléctricas de los sistemas digitales de alta velocidad, de los analógicos de bajo nivel, o de cualquier otro sistema o circuito donde la longitud de la terminal es importante. Bajo estas condiciones, las tarjetas de extensión pueden no ser muy útiles.

APENDICE A

CAPITULO VI

ELECTRICIDAD ESTATICA Y SEMICONDUCTORES¹

¡EL "TOQUE" DE ESTATICA PRODUCE DAÑO!

La electricidad estática es un fenómeno muy conocido, el cual, excepto por un ligero choque eléctrico o la molesta sensación de adherencia de los objetos cargados estáticamente, no nos parece nada serio. De hecho, muchas personas en la industria electrónica rechazan la descarga electrostática (ESD, siglas en inglés; DES en español) como una causa importante de falla de los componentes y por consiguiente de falla de equipo. No es sorprendente, por tanto, que muchas personas duden de la magnitud, o inclusive de la realidad, del problema causado por la DES. En muchos casos, un componente dañado muestra muy poco o ningún daño físico si se observa al microscopio. Desafortunadamente, muchos componentes electrónicos pueden ser dañados o destruidos por la DES en condiciones que escapan nuestra percepción sensorial. Tanto los componentes activos como los pasivos son susceptibles, y el daño va desde una ligera degradación de uno de los parámetros hasta fallas catastróficas tales como cortocircuitos. Las fallas catastróficas son fáciles de descubrir o analizar; las partes "heridas" que fallarán en un momento posterior son las difíciles de detectar, y comprobar el daño causado por la DES.

Esta dificultad para reconocer las fallas relacionadas con la DES es la causa principal de la falta de toma de conciencia respecto a este problema. Esta es la parte más importante de la batalla contra el "TOQUE" estático; la necesidad de reconocer la existencia de la estática por parte de los más altos niveles directivos hasta los encargados de empacar, enviar o recibir los componentes electrónicos. Deben instrumentarse medidas de control de la DES, debido a que la tendencia de las tecnologías hacia geometrías más pequeñas, menores potencias y voltajes más bajos, también representan una tendencia hacia una mayor susceptibilidad a la DES.



¿Quién hubiera pensado, hace 10 años, que los ingenieros tendrían que preocuparse por el tipo de pisos, ceras y limpiadores, cubiertas de los bancos de trabajo, de los carros de servicio y las rodajas, de los rociadores antiestáticos, de la cinta de pegar, recipientes de plásticos para las requisiciones, y otros artículos relacionados con la DES? Hoy en día tenemos que preocuparnos por estas cosas, ya que el progreso en los circuitos con protección interna en relación con la tendencia a geometrías cada vez más pequeñas, como se mencionó anteriormente, parece no poderse mantener al unísono. Por consiguiente, los problemas originados por la DES se harán más severos en el futuro inmediato. Es interesante hacer notar que hace 10 años, en los hospitales, la DES era muy tomada en cuenta debido al tipo de anestésicos que se usaban, y ahora que el personal médico, enfermeras y paramédicos han dejado de preocupar-

1 Traducción de: "Static Zap Makes Scrap", reproducido con permiso de **Bench Briefs**, marzo-mayo 1983, una publicación al servicio de Hewlett-Packard, con adaptaciones al medio latinoamericano.

se por la electricidad estática, empiezan a preocuparse por ella los ingenieros biomédicos.

Se preguntará ¿qué tan severo es el problema?

Una fuente de información en la industria electrónica estima que podemos estar perdiendo tanto así como diez mil millones de dólares anualmente debido a la DES. Podría haber una pérdida de hasta 500 millones de dólares a nivel de los componentes debido al extenso daño causado por la DES.

El Sr. Dick Moss, Director de Ingeniería de Confiabilidad en la Hewlett-Packard dice: "A través del control de DES podemos reducir fallas internas y fallas de campo en por lo menos 10%". El Sr. Moss predice que la Hewlett-Packard, en total, gastará más de 1 millón de dólares en el establecimiento de programas de control de estática. "Más de la mitad de nuestras divisiones han establecido programas de control de estática." Diversas divisiones de la Hewlett Packard han instrumentado programas de eliminación de estática que han tenido resultados significativos.

EJEMPLO I

En marzo de 1980, una división de producción de la HP realizó un experimento para determinar el efecto del manejo de circuitos integrados no protegidos. Se probaron 87 circuitos y se encontraron en buenas condiciones. Cuarenta circuitos fueron colocados en una caja de plástico en la forma usual, y 47 fueron cuidadosamente colocados en espuma anti-estática.

Los dispositivos colocados en las cajas de plástico fueron manejados por diversas personas en el departamento de circuitos integrados y luego regresados a sus cajas de plástico. Los 40 dispositivos fueron sometidos a prueba nuevamente. Treinta y un circuitos no pasaron la prueba; 9 sí la pasaron.

Los 47 circuitos colocados en la espuma anti-estática también fueron sometidos a otra prueba. Todos se encontraron en buenas condiciones y fueron regresados a sus empaques de espuma anti-estática.

Estos experimentos dieron como resultado final una reducción en el tiempo de reparación de las tablillas. Por ejemplo, el tiempo estándar de reparación de tablilla en uno de los sistemas de esta división se ha reducido de 13 a 5.47 horas por unidad. Los procedimientos de control de DES, instrumentados en otra área de producción, mejoraron la producción de un componente LSI (circuito integrado de gran escala) de 22% a 100%. Más tarde se ins-

trumentaron procedimientos de protección contra DES para disminuir las fallas de un "chip" híbrido que se empleaba ampliamente en toda la compañía. Después de iniciar este programa, las devoluciones por defectos originados en la banda de ensamble disminuyeron de 25% a 4% en los dos siguientes meses.

EJEMPLO II

Otra división de producción de la HP hizo una prueba informal, en agosto de 1980, para determinar la sensibilidad de los componentes en una tableta de circuito impreso fabricada en grandes cantidades. Se tomaron de la línea de producción 10 tabletas y se verificó que estuviesen en buenas condiciones. Empleando un generador de estática, el personal tocó los conectores de los bordes con una punta de prueba DES. Todas las 10 tabletas fueron dañadas por una carga electrostática de 650 a 1,000 V. Las fallas fueron verificadas, introduciendo las tabletas en un instrumento en operación. El trabajo de reparación reveló que el LS TTL fue el componente más sensible de la tableta -todo componente que tuvo que ser reemplazado era del tipo LS TTL. Los 8080 y los TTL no fallaron, pero sí se dañaron.

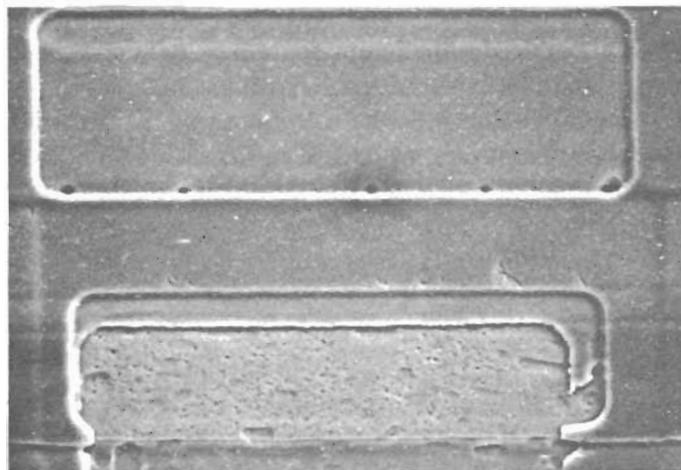


Figura VI(A)-1. Este es un MOS-FET con el óxido y el metal eliminados para mostrar los cráteres en la compuerta. El área rugosa en la parte inferior es una plaquita de metal para el conector. La ampliación es de 2200X.

Esto hace resaltar dos puntos importantes con respecto a la DES:

1. Las personas pueden "transportar" de 1,000 a 5,000 voltios y no tener ninguna sensación aun

con descargas que estén por abajo de 3,500 a 4,000 voltios.

2. Los componentes montados sobre una tablilla CI tienen un riesgo mayor de daño por DES, porque cada conductor impreso (o alambre) es una vía rápida que se conecta a varios dispositivos. Una descarga sobre dicho conductor ejerce acciones simultáneas sobre varios componentes y no sobre uno solamente.

EJEMPLO III

A mediados de 1980, uno de los departamentos de computación de la HP instrumentó un programa agresivo de prevención de DES para disminuir su tasa del 23% de falla interna en la planta de producción en ciertas bandas de ensamblado. Los empleados fueron entrenados en DES y en su prevención. Se establecieron zonas de trabajo libres de estática en las áreas de producción. En un lapso de tres meses las fallas decayeron a menos del 3%.

Entendiendo el proceso

La electricidad estática es en realidad una carga de electrones en reposo sobre una superficie. Cuando la carga se hace lo suficientemente grande, puede ocurrir una descarga electrostática. La descarga ocurre, desde luego, cuando una persona con carga toca una parte o una parte cargada toca otra superficie conductiva. ¿Cómo se carga la superficie? Existen tres tipos de generadores de estática.

Triboelectricidad

El generador de estática más común es la carga triboeléctrica, donde dos materiales en contacto se separan súbitamente o se frotan entre sí. Una demostración común de este principio es jalar cinta de pegar de su rollo, lo cual genera hasta más de 5,000 voltios. Una persona puede desarrollar una carga significativa en su cuerpo con un movimiento relativamente simple, tal como caminar sobre un piso o al quitarse el abrigo. El caminar sobre un piso de vinilo puede generar hasta 12,000 voltios, lo que representa suficiente carga estática para producir un pequeño toque eléctrico. El simple acto de cambiar de posición el cuerpo puede generar cientos de voltios. La persona así cargada toca entonces un componente, digamos durante un proceso de ensamblado manual, la carga del cuerpo es transferida ya sea al

componente, o a través del componente a tierra. Esta descarga es por lo general mucho mayor de la que pueden tolerar muchos circuitos.

¿Entonces, cómo se cargan a sí mismos los componentes mediante el proceso de triboelectricidad? Consideremos, por ejemplo, que la mayoría de los circuitos integrados se transportan y envían en tubos de plástico. Cuando se saca de un tubo el componente cargado y se pone en contacto con tierra, la rápida descarga puede hacer fallar al componente.

Inducción

Una segunda forma más sutil de carga se denomina "inducción" porque el campo electrostático de una superficie cargada induce polarización de un cuerpo conductor cercano. Si existe una vía de descarga para esta carga inducida, puede ocurrir inmediatamente una DES.

Un buen ejemplo de este principio es cuando una persona maneja un ensamble de tabletas de circuito impreso cubierto por una envoltura de burbujas de plástico o una tableta individual de circuito impreso colocada dentro de una bolsa de plástico. La persona que está manejando el plástico induce una carga en el plástico, lo cual a su vez induce una carga en la pieza que se encuentra adentro. No importa si la persona tiene o no colocado un brazalete de seguridad contra la corriente. Cuando la persona toca la pieza para sacarla del plástico, la descarga repentina produce el daño por DES.

Carga Capacitiva

La carga capacitiva es un tercer mecanismo, el cual puede ser responsable del aumento de voltajes relativamente inocuos a niveles peligrosos. La ecuación familiar $Q = CV$ (la carga es igual a la capacitancia por el voltaje) puede ser despejada para el voltaje y rápidamente vemos que si la carga es constante, el voltaje aumenta a medida que disminuye la capacitancia. Así, un voltaje bajo inocuo sobre un componente o un ser humano con una elevada capacitancia a tierra puede convertirse en un voltaje peligroso a medida que el objeto se aleja del plano de tierra; como por ejemplo, cuando la tablilla en la que se ensambla el componente se levanta de una mesa o del piso, se varía su capacitancia y por lo tanto su voltaje. Ahora bien, si conectamos el ensamble a tierra lo más probable es que sufra daño, mientras

que antes la carga probablemente no era suficientemente alta como para representar un peligro.

Esto nos lleva a considerar los tres mitos existentes con respecto a la descarga electrostática.

LOS TRES MITOS DE LA DES

Mito No. 1. Sólo los Semiconductores de Metal-Oxido (MOS) son susceptibles a la DES

Aunque es cierto que los dispositivos MOS son extremadamente sensibles, las pruebas han mostrado que otros tipos de componentes son también sensibles. El cuadro I muestra un espectro de sensibilidades (nótense los dispositivos NO-MOS en el grupo extremadamente sensible)

Mito No. 2. Sólo los componentes no-montados son susceptibles a la DES.

Esto es solamente cierto si el ensamblaje o la revisión de una tablilla se efectúa con circuitos de protección en todos los nodos sensibles, en particular donde la entrada de un componente sensible es llevada hacia una "patita" de conexión. Lo que generalmente sucede es que al montar componentes sobre ensambles de circuitos impresos aumenta el riesgo de daño por DES ya que cada conector impreso se conecta a diversos dispositivos. Una descarga a dicho conductor, por lo tanto ejerce efectos sobre varios dispositivos y no sólo en uno.

Cuadro (VI)-I. Sensibilidad a DES de los componentes típicos (basada en mediciones empleando 100 picofaradios que se descargan a través de 1.5 kilohmios)

Extremadamente sensibles (0 a 1 kilovoltio)

- MOS desprotegido: Transistores de Efecto de Campo (FET)* y Circuitos integrados (IC)* en especial los de Muy Gran Escala de Integración (VLSI)*
- Capacitores MOS (compensación interna de Amp Op)
- FET de unión y rectificadores controlados de silicio de baja corriente (SCR)* -menor de 0.15 A.
- Transistores de Microondas y de Muy Alta Frecuencia (VHF)*.

- Circuitos integrados de Microondas o de VHF, especialmente el Schottky.
- Reguladores de voltaje de circuito impreso de precisión -menor de 0.5%.
- Resistores de película delgada de precisión -menor de 0.1%.
- Resistores de película delgada de baja potencia -menor de 0.5 W.
- Circuitos de muy gran escala de integración (VSL)* con metalización de doble nivel.

Sensibles (1 a 4 kilovoltios)

- MOS con redes de protección (CMOS, NMOS, PMOS)
- Diodos Schottky
- Lógica bipolar de alta velocidad: Lógica Acoplada por Emisor (ECL)*, Transistor Schottky de baja potencia. Transistor Lógico (LS-TTL), Schottky TTL (S-TTL), Circuitos integrados lineales.

Menos sensibles (4 a 15 kilovoltios)

- Diodos de señales pequeñas -menor de 1 W.
- Transistores de señales pequeñas -menor de 5 W.
- Lógica bipolar de baja velocidad (TTL), Lógica diodo transistor (DTL), TTL de alto umbral (H-TTL).
- Cristales de cuarzo y piezo-eléctricos.

* por sus siglas en inglés



Figura VI(A)-2. Esta es una amplificación (23,000X) de uno de los cráteres que se muestran en la figura 1. El cráter tiene aprox. 1 micra de ancho y contiene fragmentos de metal fundido.

Los circuitos CMOS sometidos a una DES mientras están energizados presentan un riesgo adicional -enclavamiento. El enclavamiento es una avalancha de pnpn parasítico que por lo general se produce por una espiga de entrada o de salida, y que excede los voltajes de alimentación de tal manera que el dispositivo se dispara hacia la fuente de alimentación. El CMOS trata entonces de derivar la energía hacia el común y el resultado frecuente es un sobrecalentamiento y falla catastrófica. En algunos dispositivos CMOS de muy baja potencia que se emplean en instrumentos energizados mediante baterías, el enclavamiento no daña al circuito integrado pero aumenta el drenado de la batería a tal grado que produce una descarga temprana de la batería, la cual tiene que ser remplazada muy pronto. En estos dos casos, muy a menudo, no se sospecha del efecto de la DES puesto que la evidencia parece indicar otros factores.

Mito No. 3. Sólo los medios ambientes con baja humedad permiten la producción de la DES

Existe la creencia generalizada de que no existen problemas de electricidad estática cuando la humedad del ambiente es elevada. Es cierto que el aumento de la conductividad superficial, al existir un alto grado de humedad, tiende a reducir la generación de triboelectricidad, a diseminar las cargas sobre superficies mayores de manera que los campos creados son menos intensos y a permitir que las cargas se drenen hacia tierra más fácilmente. Pero la verdadera razón por la cual este mito es tan ampliamente aceptado es que los voltajes que se presentan durante la humedad elevada se encuentran por abajo del umbral de percepción de una persona promedio, el cual es característicamente de 3 a 4 kV. Este es también el voltaje necesario para producir una chispa visible y audible entre la punta del dedo o un instrumento sostenido con la mano y una superficie conductora. El cuadro 2 ilustra algunas fuentes características de DES y la relación entre la humedad relativa y el valor DES. Los niveles de carga están reducidos en ambientes de elevada humedad, pero aún se encuentran dentro de los límites indeseables.

CUADRO VI(A)-II. Voltajes electrostáticos característicos en relación con la humedad relativa (H.R.)

Fuente	Valor DES (en kilovoltios)	
	70-90% H.R.	10-20% H.R.
Caminar sobre piso de vinilo	0.25	12
Caminar sobre alfombra sintética	1.5	35
Sentarse sobre cojín de hule espuma	1.5	18
Recoger una bolsa de plástico estándar	0.6	20
Deslizar una caja de plástico sobre una mesa de trabajo alfombrada	1.5	18
Jalar cinta adhesiva de una tableta de circuito impreso	1.5	12
Empacado pelicular de la Tableta de Circuito Impreso	3	16
Aplicación de removedor estándar de soldadura	1.0	8
Limpiar el circuito con un borrador	1.0	12
Atomizador de Freón para circuitos	5.0	15

Prevención de la DES

Es más fácil y efectivo eliminar la estática del ambiente y drenar las cargas de las personas a tierra que confiarse en los dispositivos protectores que se interconstruyen en los circuitos (los cuales raramente exceden de 2 kV de protección). El diseño y la efectividad de los circuitos de protección varían entre los diferentes fabricantes. Los diodos Zener pueden no actuar lo suficientemente rápido para proteger los componentes más sensibles. El uso de los resistores de limitación está restringido a los voltajes que pueden soportar. Además, en ocasiones los circuitos de protección reducen la eficiencia del dispositivo, lo cual podría representar una gran desventaja para aquellas aplicaciones que requieren de elevada eficiencia.

El auto-control de la prevención de la DES se basa en un programa que se centra alrededor de las siguientes reglas básicas.

Regla No.1. Maneje todas las partes electrónicas y los ensamblajes como si fueran sensibles a la estática.

- No toque los cables de conexión, "patitas" o pistas al estarlos manejando.
- Mantenga los componentes en sus envases originales hasta el momento de usarlos.
- Descargue la estática antes de manejar los dispositivos haciendo contacto con una superficie metálica conectada a tierra tal como un estante o gabinete. Mejor aún, use un brazaletes derivado a tierra mediante un resistor de 1 megaohmio.
- No deslice los dispositivos sensibles a la estática sobre superficie alguna.
- Notifique a su supervisor cuando existan piezas que hayan sido manejadas inadecuadamente -podrán pasar la prueba final pero pueden estar lo suficientemente degradadas y fallar durante su uso.

Regla No. 2. Maneje todas las partes y ensamblajes sensibles a la estática en las áreas protegidas contra la estática

- Un área de trabajo segura contra la DES se define como aquella que tiene:
- Mesa con cubierta conductiva derivada a tierra mediante un resistor de 1 megaohmio. Cada cubierta debe tener dos conectores articulados

para conectar los brazaletes o muñequeras. Nunca deberán colocarse "caimanes" en las cubiertas puesto que su área de contacto es demasiado pequeña para servir como conductor a tierra.

- Todos los aparatos y equipos metálicos deberán derivarse a tierra: pistolas de soldar, bancos de trabajo, maquinaria, equipo eléctrico, uniones, boquillas de limpieza, bandejas giratorias, soportes de tornamesas, gabinetes y estanterías fabricados en metal deberán estar derivados a tierra.
- Una tierra común para cada área de trabajo. Por ejemplo: La cubierta de la mesa y el equipo deben conectarse a la misma tierra. Los tornillos de las cajas metálicas de una línea de suministro de fuerza de CA adecuadamente derivada a tierra representan un buen lugar para conectar el cable de derivación a tierra.
- Mantenga el área de trabajo libre de no-conductores. Que no existan plásticos comunes, bolsas de polietileno, cartulinas, cajetillas de cigarrillos, envolturas de caramelos, sobres de trabajo, cubiertas individuales de material sintético, o placas metálicas sin derivación a tierra. No debe haber alfombras ni en el piso, ni en las superficies de trabajo, ni en la estantería.
- La ropa nunca debe hacer contacto con los componentes o con los ensamblajes. Es preferible usar manga corta, y las mangas largas deben enrollarse lo suficiente para evitar el contacto con las piezas sensibles o cubrirse con protectores hechos de material antiestático. Se recomienda usar delantales antiestáticos, especialmente si se está trabajando con material de la clase I (sensible a 1,000 voltios).

Use sólo contenedores apropiados para almacenaje, tales como bolsas antiestáticas, charolas conductoras o antiestáticas y tubos para circuitos integrados. No deberán existir papeles o tarjetas dentro de los contenedores.

- Los guantes, si se usan, deben ser de algodón o de material antiestático y no de material sintético.
- Los carritos, si se usan para transportar artículos sensibles, deben tener las superficies cubiertas de material conductor y tener por lo menos dos ruedas conductoras.

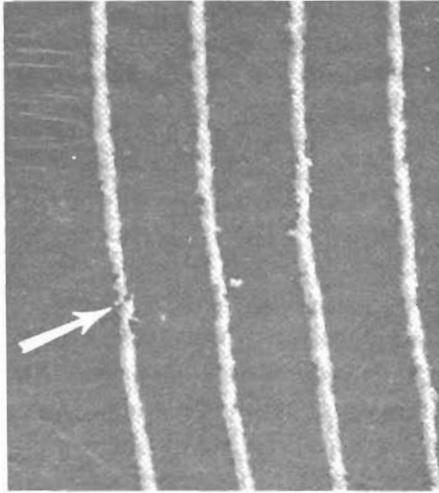


Figura VI(A)-3. Estos son los cortes en espiral en un resistor de película metálica de precisión de 1 megohmio. La flecha muestra el lugar donde la DES causó un arco a través de la hendidura del metal fundido, originando un puente.

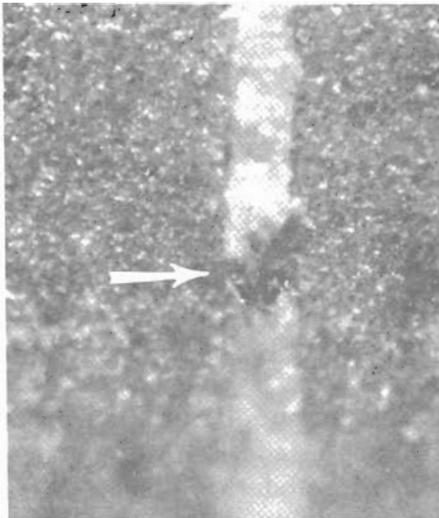


Figura VI(A)-4. Acercamiento del área dañada que se muestra en la Fig. 3. Este es un buen ejemplo de la parte "herida" justo fuera de la tolerancia y que es capaz de producir un problema en el circuito, el cual es muy difícil de localizar debido a las resistencias paralelas.

- Deberá proporcionarse una cubierta conductiva en el piso, derivada a tierra, y deberán emplearse tobilleras de protección cuando es necesario caminar y no se puede usar brazaletes (muñequeras). Deberá usarse una tobillera nueva diariamente. Una alternativa al uso de las tobilleras es el uso de zapatos con suelas conductivas diseñadas para ser usadas en ambientes antiestáticos.

- Los cepillos, si son necesarios, deberán ser de cerdas naturales no sintéticas.

Además, semanalmente deberán cumplirse las siguientes recomendaciones para mantener un área de trabajo segura contra la estática y libre de choques eléctricos.

- Las áreas de trabajo deben controlarse para garantizar las adecuadas conexiones a tierra, proporcionar procedimientos de seguridad y evitar los riesgos de la estática. La continuidad entre tierra y los brazaletes debe verificarse con un óhmetro. Las áreas de trabajo, incluyendo los materiales y los contenedores, deben verificarse con un medidor de estática.
- Rocíe una solución antiestática en un trapo limpio y frote la superficie de la mesa de trabajo, de las herramientas de mano, los asientos y respaldos de las sillas.



Figura VI(A)-5. Etiqueta aprobada para los dispositivos sensibles a la estática

- Limpie las cubiertas conductivas con un detergente ligero y agua o con solución antiestática. (El polvo o la cera pueden aislar la superficie y evitar la conductividad.)

Regla No. 3. Empaque las partes adecuadamente para su transporte o almacenaje. Los sobres o contenedores deben tener una etiqueta de advertencia. (De preferencia que sea el símbolo de JEDEC/EIA.)

- Almacene y transporte las partes y ensamblajes sensibles en envases antiestáticos. El mejor envase protector es una "Jaula de Faraday". El metal, el plástico metalizado y el plástico cargado con carbón son todos ejemplos de dichos contenedores, teniendo la ventaja el plástico metalizado de que es semitransparente, de tal manera que puede verse el contenido sin abrir el envase. La diferencia entre la "Jaula de Faraday" y las bolsas de poliéster rosa es la si-

Pero si una persona con carga estática maneja el envase de poliéster rosa, la pieza dentro de la bolsa se carga debido a la inducción. Entonces, al abrir la bolsa y sacar la pieza, la derivación repentina de la pieza a tierra puede producir el daño por la DES. La "Jaula de Faraday" desvía cualquier carga inductiva que se presente alrededor de la pieza y le proporciona protección completa.

- Cuando esté empacando las piezas para almacenaje o transportación emplee material de empaque antiestático y empáquelas sin dejar espacio libre para evitar que se muevan, lo cual podría originar estática.
- Asegúrese de que los tubos empleados para almacenar o transportar los circuitos integrados sean del tipo antiestático. Los tubos de plástico causarán la acumulación de carga estática en los circuitos integrados cuando éstos se deslizen hacia el exterior del tubo.
- Asegúrese de que los carritos, ruedas, rodajas, marcos, estantes sean conductivos. Si se trans-

porta equipo electrónico sensible mediante un carrito con ruedas de hule que es empujado por una persona que usa zapatos de suela de crepé o de hule grueso se crea otra forma de "generador de alto voltaje de Van de Graaf"

CONCLUSIONES

La DES es responsable de un porcentaje desconocido pero significativo de fallas en los componentes eléctricos y es probable que este problema aumente al aumentar el uso de componentes cada vez más pequeños, más rápidos y de menor potencia. Las medidas de protección y prevención son relativamente simples, pero no tendrán éxito a menos que se combinen con programas educativos dirigidos a la conscientización de los problemas que la electrostática puede originar. La prevención del daño por estática sólo será tan buena como lo sea su eslabón más débil. Recuerde, ¡el componente!

NOTA: El reciente crecimiento explosivo del mercado de productos protectores contra la estática ofrece una amplia gama de éstos al comprador potencial. Desafortunadamente, la multitud de voces y opciones han hecho que la selección del producto óptimo se dificulte. Por ello, "Precaución, comprador", es decir, es de suma importancia que realmente conozca el producto que va a comprar. El comprador debe estar muy bien familiarizado con los productos protectores contra la DES. Para asegurar la calidad máxima, las compras sustanciales deben hacerse sólo después de un estudio detallado del mercado, después de realizar un programa de calificación formal del producto y pruebas de muestras de lotes para asegurar una calidad consistente.

Para obtener información sobre productos que existen en el mercado para evitar daños por DES se recomienda el documento: ESD Protective Material and Equipments; Critical Review. Spring, 82. No. de Orden SOAR.1. Preparado por Norman F. Fuqua. IIT Research Institute. Bajo contrato con: Rome Air Development Center. Griffiss AFB, N.Y., 13441.

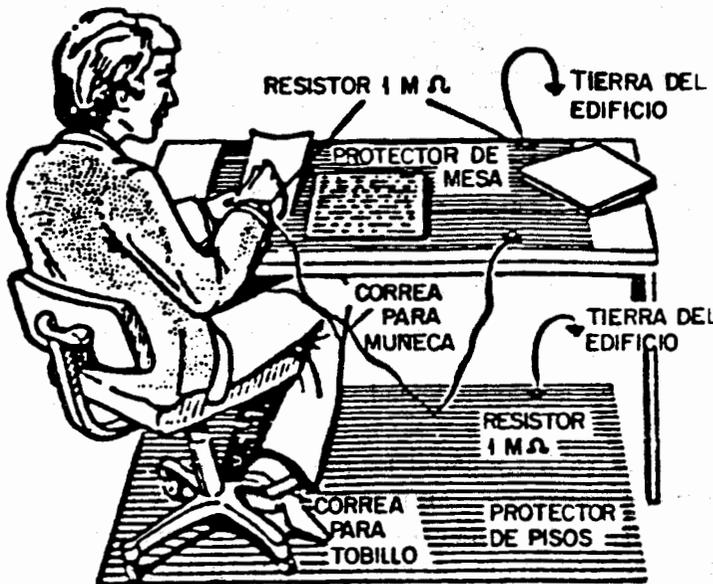


Figura VI(A)-6. Ejemplo de banco de trabajo libre de estática para reparación de tarjetas de circuito impreso.

CAPITULO VII

MEDIDAS DE SEGURIDAD

Este capítulo versará sobre las medidas de seguridad que deben tomarse: para el localizador de fallas, para el operador del equipo y, en el caso de equipo médico, para el paciente. Es aconsejable que las conozca todo el personal que labore en este tipo de Unidades y, como ya se mencionó antes, usted es el indicado para adquirir estas normas o medidas de seguridad y transmitir las a los demás trabajadores.

El Módulo Especial de este Manual le proporciona información más detallada sobre las medidas de seguridad en las diferentes áreas de trabajo en una institución para la atención de la salud.

I. SEGURIDAD PARA EL LOCALIZADOR DE FALLAS

Hay muchas formas de lesionarse al trabajar con instrumentos, aparatos o equipos. Las causas de riesgos pueden clasificarse en: A) Eléctricas, B) Mecánicas, C) Radiación, D) Calor y E) Biológicas.

A. Riesgos de origen eléctrico

Es importante reconocer que es la corriente eléctrica la que produce el daño. Así, el voltaje alto pero muy fugaz puede ser que no produzca daño; en contraste, sí lo hace un bajo voltaje sostenido.

Las corrientes menores de 500 microamperios no se perciben. Con corrientes entre 500 microamperios a 2 miliamperios se estimulan los nervios sensoriales y, por lo tanto, pueden percibirse. Las corrientes de más de 2 miliamperios estimulan además los nervios motores y producen contracciones musculares. Las corrientes de 10 miliamperios pueden provocar lesiones internas y las de 100 mA, la muerte.

Corrientes de más de 1 amperio producen quemaduras, las cuales son debidas a la disipación del calor, producida por el paso de corriente a través de los tejidos.

La sensación y percepción de la corriente eléctrica está en función de su frecuencia. La frecuencia a la cual los seres humanos y otros sistemas biológicos son sensibles se encuentra en el margen de 50 a 60 hertzios. A frecuencias mayores o menores de este

margen, se requerirá más corriente antes de que pueda producirse alguna sensación, y también se requerirá más corriente para que el corazón deje de latir. Sin embargo, en este caso, los efectos serán diferentes en relación con la dirección (vector de corriente) y el momento del ciclo cardíaco en que fluya la corriente.

La mayoría de las lesiones producidas por un choque eléctrico, de poca duración, son lesiones traumáticas o quemaduras, o ambas. El traumatismo resulta de la "reacción de sobresalto" por la estimulación sensorial y la repentina contracción muscular por la activación de los nervios motores.

Para que ocurra un choque eléctrico (paso de corriente eléctrica) deben cumplirse tres condiciones:

1. Debe existir una diferencia de potencial (voltaje).
2. Debe existir una vía para el flujo eléctrico (debe haber un circuito cerrado).
3. Debe fluir suficiente corriente.

Reglas de seguridad para evitar el choque eléctrico

- a. Si es posible, desconecte toda fuente de poder antes de trabajar en el interior de un instrumento, antes de quitar cubiertas y paneles, antes de hacer contacto con una terminal de prueba en un punto de alto voltaje, antes de trabajar en lugares estrechos. Siempre que suspenda su actividad y deje un dispositivo de alto voltaje, asegúrese de que no tiene carga.
- b. Si la fuente de poder debe estar conectada, use **sólo una mano**. Mantenga la otra mano en los bolsillos, donde no pueda hacer contacto con otra parte del sistema, para evitar formar una vía para el flujo de corriente a través del tórax (pecho). **RECUERDE** debe haber una vía para la corriente y una diferencia de voltaje para que ocurra un choque eléctrico.
- c. Los fusibles o sistemas limitadores de corriente están diseñados con un propósito. Considere cuidadosamente los posibles riesgos antes de quitarlos.
- d. Siempre que sea posible use herramientas con mangos aislados con material no conductor.

e. Siempre esté consciente de los riesgos. **PIENSE** sobre los aspectos de seguridad en el trabajo que está realizando. **RECUERDE** que puede ser usted mismo el que sufra las consecuencias del descuido.

El propósito del tercer cable o cable "de tierra" en el cable de conexión de un instrumento es proteger al usuario del equipo de un choque eléctrico. El utilizar dispositivos "sin tierra" representa riesgo de choque eléctrico. Es importante recordar que el equipo funcionará perfectamente bien, aunque el cable "de tierra" esté dañado. LA UNICA forma de saber si un equipo está conectado a tierra es midiendo la continuidad entre la terminal de tierra de la clavija hacia el chasis.

Consulte el Apéndice A de este capítulo para mayor información sobre riesgos de choques eléctricos fatales.

B. Riesgos de origen mecánico

1. Herramientas eléctricas

Las herramientas activadas con energía eléctrica tales como taladros, pulidoras, sierras, etcétera, pueden ser peligrosas si se manejan con descuido.

Siempre fije bien (usando abrazadera o cualquier otro dispositivo de sujeción) su objeto de trabajo. De preferencia use prensa para taladrar. Ponga protectores en las sierras; cuidé las partes de su ropa que cuelguen; al cortar materiales piense en la dirección en que caerá el material cortado; prevea que si se rompe la sierra ¿hacia dónde saltará?, etcétera.

Proteja sus ojos contra las partículas metálicas, de vidrio, etcétera, que se desprenden. Piense que son preferibles las "burlas por miedo" que quedar ciego.

Cúdense de los bordes filosos. Pueden cortar.

No interfiera con los seguros y protecciones, han sido provistos para su seguridad y recuerde que, por lo general, se diseñan y se ponen "después de un accidente"; "después del niño ahogado se tapa el pozo".

Use ropa de protección, protectores faciales o cualquier otro equipo de protección necesario.

LO MAS IMPORTANTE. Use las herramientas y el equipo correctamente para el uso que fueron diseñados.

2. Cilindros de gas comprimido

Los cilindros de gas comprimido son dispositivos muy peligrosos. Cuando están a presión elevada, un golpe relativamente ligero puede convertir al cilindro en un cohete con la fuerza suficiente para atravesar una pared de concreto.

Los cilindros de gas deben estar siempre asegurados en posición para que no puedan voltearse. También deberán protegerse de golpes punzantes.

3. Levantamiento de equipo

Levante el equipo con cuidado y apropiadamente. Lo más apropiado es hacerlo con la espalda recta y levantar el objeto, erguyendo el cuerpo. Es inadecuado doblar la espalda y estirar los brazos para levantar el objeto. Las lesiones de espalda pueden ser permanentes.

No trate de levantar demasiado peso usted solo. Es preferible hacer varios viajes. En caso necesario busque ayuda.

Tenga especial cuidado cuando levante objetos con formas raras o cuando levante algún objeto por encima de su cabeza.

Antes de levantar un objeto analice la situación alrededor del objeto, fíjese en los desniveles del piso, salientes, inclusive personas o animales que puedan provocar un accidente.

C. Riesgos por radiación

1. No ionizantes (Frecuencias de radio, microondas, luz no visible, etcétera).

El efecto principal de este tipo de radiación es una quemadura.

Las frecuencias de radio y las microondas pueden causar quemaduras serias, las cuales se presentan como un pequeño hoyo en la piel, pero que producen una gran área dañada debajo de la piel. Estas quemaduras cicatrizan muy lentamente y tienen una elevada probabilidad de infectarse.

Este tipo de lesión en los ojos, a menudo, se transforma en cataratas, que pueden producir ceguera. Las cataratas pueden no formarse sino hasta muchos años después de la exposición.

Muchos instrumentos científicos utilizan o contienen una fuente luminosa. Esta fuente puede ser infrarroja, visible o ultravioleta; de descarga gaseosa, de arco, incandescente, o láser. Muchas de estas

fuentes luminosas pueden ser muy intensas o brillantes y producir lesiones.

La mayoría de las personas están conscientes de los daños que puede causar la luz ultravioleta, pero las longitudes de onda de la luz infrarroja pueden ser igualmente lesivas para los ojos.

Siempre proteja sus ojos y los de sus compañeros de trabajo cuando trabaje con instrumentos que incluyen fuentes luminosas. Es importante mencionar que estas "fuentes de radiación" no se ven, es decir, no activan la sensación visual.

2. Radiaciones ionizantes (Rayos X, Radiactividad, etcétera).

Este tipo de radiación es muy peligrosa debido a que lesiona las partes más importantes de las células. Además, **RECUERDE**, usted no puede ver, oler, oír o percibir la radiación ionizante. Debe depender de instrumentos especializados para detectar su presencia.

Siempre use los gafetes de identificación de película fotográfica u otros medios de detección y de medición de exposición cuando trabaje con equipo de rayos X.

Nunca entre a un cuarto, mientras esté en operación un equipo de rayos X, sin ponerse la ropa de protección adecuada.

Cuando trabaje con materiales radiactivos cuíde-se de la contaminación o de derrames.

Algunos instrumentos emplean cantidades potencialmente peligrosas de material radiactivo como parte constituyente de los mismos. Un ejemplo es un detector de ionización empleado en muchos instrumentos de cromatografía de gases. Algunos interruptores de alta corriente, alto voltaje, contienen una fuente radiactiva para estabilizar sus características de encendido. Si se rompen estos interruptores pueden liberarse cantidades peligrosas de radiactividad.

3. Radiación sonora.

En este caso también es importante mencionar que, el margen de frecuencias que el oído humano puede detectar y el cerebro percibir es limitado y que conforme la persona se hace adulta disminuye más ese margen. Por esto puede no percibir sonidos de baja frecuencia (menos de 50 Hz) o de alta frecuencia (18000 Hz) de intensidad que lesionan su aparato auditivo.

El oído tiene un sistema de músculos y huesos que participa en la transmisión del sonido y disminuye el efecto de los sonidos intensos y, con el tiempo, este mecanismo de defensa va disminuyendo la

capacidad auditiva de la persona. Observe si después de terminado su trabajo va recuperando su audición, esto le indicará que su oído está sometido a un ruido intenso durante las horas de trabajo.

Los sonidos de alta intensidad pueden producir pérdida auditiva permanente y tinnitus (zumbidos en el oído).

Muchos dispositivos ultrasónicos tienen suficiente potencia de salida para producir dolores de cabeza u otros problemas (naturalmente, sin que usted oiga esas frecuencias). Esto es especialmente cierto en los limpiadores y desintegradores ultrasónicos grandes, empleados para separar células en la investigación biológica.

Utilice protectores auditivos. Colocar algodón en sus oídos es mejor que no hacer nada.

D. Riesgos por calor (quemaduras)

Estas son en su mayoría auto-explicables. Las planchas de soldar, los tubos al vacío, los calentadores, las lámparas, los motores, los resistores eléctricos, los vertedores a calor, etcétera, todos pueden causar quemaduras dolorosas. Además hay equipo que en condiciones anormales se calienta; por lo tanto, **la regla es:** antes de empezar su trabajo identifique los objetos que puedan estar calientes, es decir, **PENSAR Y ESTAR CONSCIENTES** de todos los objetos que puedan estar muy calientes.

E. Riesgos biológicos

Estos riesgos se aplican sólo para algunos equipos médicos, como por ejemplo, el de diálisis, dispositivos quirúrgicos, monitores de pacientes, etcétera, que han sido utilizados en pacientes con enfermedades infecciosas.

Si se encuentra ante un dispositivo médico que tiene sangre, presuponga que es potencialmente infecciosa, inclusive que pueda tener un tipo de virus no muy conocido por lo tanto extralimítese en precauciones, no toque el instrumento con sus manos, lávelo de acuerdo a las instrucciones, o cuando menos, límpielo y desinfectelo bien antes de proceder con su trabajo.

Un instrumento común que, con frecuencia, representa riesgos biológicos es la centrífuga. El interior del recipiente, a menudo, se encuentra recubierto de material proveniente de los tubos de ensayo que se han roto durante el proceso de centrifugación. Además, a la luz de los conocimientos ac-

tuales es imprescindible mencionar un riesgo adicional asociado con la sangre, la cual puede contener virus. Por lo tanto, insista en que las camisas de la centrifugas que operan con sangre con buen nivel de preservación (bancos de sangre), tengan tapas adecuadas para que, en el caso de un accidente, la sangre no contamine todo el aparato.

II. SEGURIDAD DEL USUARIO

Es responsabilidad de la persona que hace la reparación asegurarse de que un dispositivo, que se regresa una vez reparado, esté en máximas condiciones de seguridad para su funcionamiento. Es decir, compruebe que todos los aditamentos de seguridad (fusibles, cubiertas) estén funcionando; todas las cubiertas de aislamiento y de protección estén adecuadamente colocadas y estén funcionando, y de que no existan cables expuestos que puedan causar un choque eléctrico en el usuario, que la conexión a tierra física funcione.

III. SEGURIDAD DEL PACIENTE

Los enfermos representan una clase especial de usuarios. A menudo no están conscientes de los riesgos y muchas veces no pueden moverse por sí solos. Algunos pacientes al no saber pueden aceptar como necesario recibir choques eléctricos de un aparato, soportando la corriente y por consiguiente teniendo quemaduras que complican su cuadro clínico. Los pacientes por lo general son más susceptibles a las lesiones que una persona sana. Los que tienen enfermedades cardíacas son mucho más propensos y sensibles a sufrir lesiones por un choque eléctrico que una persona sana.

De nuevo, lo referimos al Módulo Especial, última parte de este Manual, para una información más detallada sobre cada uno de los puntos tratados en este capítulo.

APENDICE A

CAPITULO VII

LA CORRIENTE FATAL

Aunque, al principio, parece extraño que la mayoría de los choques eléctricos fatales les ocurran a personas que parecen estar mejor informadas para analizar los factores involucrados, en el accidente se descubre que la persona se "descuidó" al confiarse por conocer muy bien el peligro, o que, en realidad, no había comprendido completamente la información. Aquí presentamos algunos hechos electro-médicos que deben hacerlo recapacitar antes de exponerse a corrientes eléctricas.

Es la corriente lo que mata

A primera impresión parecería que un choque de 10,000 voltios es más mortal que uno de 100 voltios. Pero, esto no es así!. Han sido electrocutadas personas con enseres domésticos que emplean corrientes de 110 voltios o con aparatos eléctricos en la industria que usan tan sólo unos 42 voltios de corriente directa. La verdadera medición de la intensidad y, por consiguiente, el tamaño y extensión de la lesión reversible o irreversible es la cantidad de corriente (amperios) que fluye a través del cuerpo y no el voltaje. Cualquier dispositivo eléctrico que se use conectado al circuito eléctrico doméstico puede, bajo ciertas condiciones, producir una corriente fatal.

Cualquier corriente mayor de 10 miliamperios (0.01 A) es capaz de producir desde un choque doloroso hasta uno severo, las corrientes entre 100 y 200 mA (0.1 a 0.2 A) pueden ser letales, dependiendo de otros factores, como el lugar del cuerpo en el que pasó la corriente, por ejemplo, en el tórax y produjo fibrilación ventricular, o a nivel del tallo cerebral y desincronizó los centros bulbares que controlan la respiración. También es posible que corrientes mayores de 200 miliamperios (0.2 A), aunque producen quemaduras severas e inconsciencia, no produzcan la muerte, si se atiende inmediatamente a la víctima. La resucitación que consiste, ya sea en dar respiración artificial y/o masaje cardíaco, por lo general, puede revivir a la víctima, dependiendo del caso.

Desde un punto de vista práctico, es imposible saber cuánta corriente pasó a través de los órganos vitales de un individuo que ha quedado inconsciente por un choque eléctrico.

La respiración artificial, mínimo del tipo de boca a boca, debe iniciarse inmediatamente si la víctima ha dejado de respirar. Para lo cual es conveniente colocarle al sujeto en la parte posterior del cuello un rollo de ropa o cojín relativamente suave que le hiperextienda el cuello; que cuelgue la cabeza, abriéndole la boca e insuflándole todo el aire que usted pueda de sus pulmones (respiración artificial boca a boca). En esta situación es fundamental comprobar que el corazón mantiene sus latidos, para comprobarlo deben palparse las pulsaciones de la arteria carótida, esto se hace colocando los dedos índice, medio y anular a lo largo del borde interno (es decir, el que está más cerca de la tráquea del sujeto accidentado) del músculo que sobresale (el esternocleidomastoideo). En caso de que no se sientan pulsaciones debe darse masaje cardíaco, el cual consiste en comprimir el lado izquierdo del tórax en el momento de la espiración.

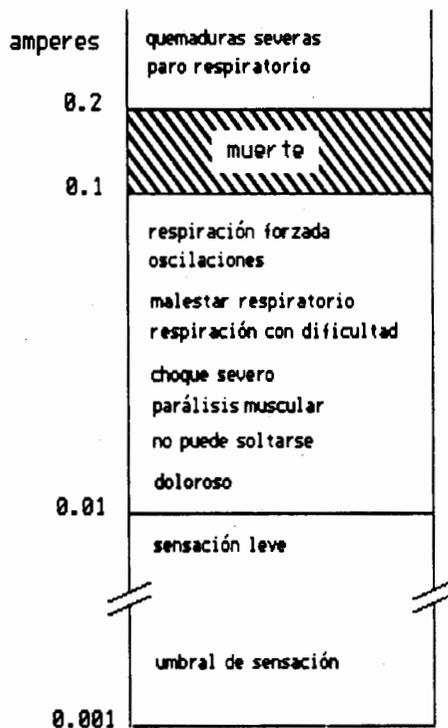
Efectos fisiopatológicos del choque eléctrico

El cuadro 1 muestra el efecto fisiológico y patológico de diversas intensidades de corriente. Nótese que el voltaje no se toma en cuenta. Aunque se requiere de voltaje para generar una corriente, la cantidad de corriente (I) que produce el choque varía en relación inversa a la resistencia del cuerpo entre los puntos de contacto. El otro factor importante es cuánto tiempo puede mantenerse un determinado voltaje, de esto depende que se genere una corriente instantánea, transitoria, o una corriente sostenida.

Tal como se muestra en el cuadro I el choque es relativamente más severo a medida que se eleva la corriente. A valores tan bajos como 20 miliamperios, la respiración se dificulta, cesando totalmente aun a valores que no llegan a 75 miliamperios.

A medida que la corriente se acerca a los 100 miliamperios ocurre fibrilación ventricular -contracciones asincrónicas de las diferentes fibras musculares de las paredes de los ventrículos del corazón (cada fibra muscular se contrae en diferente tiempo y, por lo tanto, no se produce presión en la sangre para que salga y se distribuya por las arterias).

Por arriba de 200 mA las contracciones musculares son del tipo llamado "tetánico", inclusive el corazón puede quedar en contracción tetánica¹ durante el choque. Esta contracción evita que el corazón fibrile y las oportunidades de sobrevivida de la víctima son buenas.



Cuadro VII(A)-I Efectos fisiopatológicos de diversas intensidades de corriente.

¡PELIGRO; BAJO VOLTAJE!

Es del conocimiento común que las víctimas de un choque de alto voltaje responden mejor a la respiración artificial que las víctimas de uno de bajo voltaje. La razón podría ser la misericordiosa contracción sostenida o tetánica del corazón, debido a las elevadas densidades de corriente asociadas con los voltajes elevados. Sin embargo, no malinterpretemos

éstos detalles, la única conclusión razonable que podemos alcanzar es que **75 voltios son tan letales como 750 voltios**.

La resistencia real del cuerpo varía dependiendo de los puntos de contacto y las condiciones de la piel (húmeda o seca). Entre las orejas, por ejemplo, la resistencia interna (menor que la resistencia de la piel) es de tan sólo 100 ohmios, mientras que de la mano al pie es más cercana a los 500 ohmios. La resistencia de la piel puede variar desde 1,000 ohmios para la piel húmeda hasta más de 500,000 ohmios para la piel seca.

Cuando trabaje alrededor de equipo eléctrico, muévase lentamente. Asegúrese de que sus pies tengan un soporte firme para mantener el equilibrio. No se estire bruscamente para atrapar herramientas que se están cayendo. Aprenda a controlar sus respuestas reflejas "inconscientes". Desconecte toda energía eléctrica y derive a tierra todos los puntos de voltaje elevado antes de tocar el cableado. Asegúrese de que no puede conectarse accidentalmente la energía eléctrica. Aprenda a poner avisos sobre los tableros que interrumpen la corriente. No trabaje con equipo inadecuadamente derivado a tierra.

No examine equipo energizado cuando esté mental o físicamente fatigado. Aprenda a efectuar acciones que lo ayuden a concentrarse, tales como hacer diagramas, dibujos, pensar en qué puede estar funcionando mal, etcétera, procure no usar "estimulantes", inclusive café, cigarrillos, etcétera. Mantenga una mano en el bolsillo vacío mientras revisa equipo eléctrico energizado.

Sobre todo, no toque equipo eléctrico estando parado sobre pisos de metal, concreto mojado u otras superficies bien derivadas a tierra. No maneje equipo eléctrico si su ropa está húmeda (en especial zapatos mojados) o cuando la piel está húmeda.

¡No trabaje solo! Recuerde que mientras más conozca sobre equipo eléctrico más propenso se vuelve a ser confiado y actuar sin pensar. ¡No tome riesgos innecesarios!

¿Qué hacer en favor de las víctimas?

Desconecte el voltaje y/o retire a la víctima del contacto lo más pronto posible -pero sin ponerse us-

1 Se llama así cuando todas la fibras se contraen simultáneamente y se quedan acortadas por un tiempo prolongado; contracción sostenida.

ted mismo en peligro-. Recuerde que también usted es conductor de la electricidad y si continúa pasando corriente por la víctima esta se transmitirá a usted. Por lo tanto, hágalo protegiéndose con material aislante. Emplee una tira de madera seca, cuerda, o cobija, etcétera, para jalar o liberar a la víctima. **Si no sabe dónde está el interruptor de energía no pierda tiempo valioso buscándolo.**

Recuerde: Se le recomendó que siempre, antes de iniciar su trabajo, identifique las fuentes de energía y localice los interruptores. Las posibilidades de sobrevivida del accidentado disminuyen con el tiempo. Puede alcanzarse el nivel fatal de corriente, de los 100 a 200 miliamperios, si se retrasa la acción de suspender la corriente.

Como ya se mencionó antes, si la víctima está inconsciente y ha dejado de respirar, inicie la respiración artificial inmediatamente, de tipo boca a boca (respiración artificial boca a boca); al terminar de insuflar, comprima con ambas manos el pecho y vuelva a repetir la maniobra. Mientras tanto, otro compañero debe conseguir una mascarilla con conexión a

aire, a oxígeno o a una mezcla de O₂ y CO₂ para insuflar (inspiración) los pulmones de la víctima.

No deje de aplicar la resucitación sino hasta que una autoridad médica haya tomado a su cargo la atención de la víctima o hasta que la víctima respire por sí sola. **Puede tomar hasta 8 horas revivir al paciente**, por lo cual lo indicado sería haber obtenido, y conectado al paciente, una bomba de respiración artificial. Puede ser que no se detecte el pulso arterial y puede presentarse una condición similar al **rigor mortis**; sin embargo éstas son manifestaciones del choque eléctrico y no de que el paciente ha muerto; no se desanime mantenga la respiración artificial.

Como siempre, es mejor "prevenir que lamentar". Aprenda a trabajar con las más altas medidas de seguridad; si trabaja en unidades hospitalarias solicite se le dé un entrenamiento completo sobre respiración artificial y masaje cardíaco. Tome el tiempo necesario y sobre todo el interés de conocer dónde están las salidas de aire comprimido, dónde están los tanques de oxígeno, dónde están los respiradores. Esperamos que nunca tenga que dar las gracias por estas indicaciones.

CAPITULO VIII

TECNICAS DE REPARACION

Este capítulo cubre algunos de los aspectos involucrados en una reparación. Se tratarán los temas: Cómo quitar componentes, remplazarlos y sustituirlos.

La localización, eliminación y remplazo de un componente defectuoso con éxito no quiere decir que la reparación esté completa. Una reparación completa incluye cerciorarse de la correcta operación y calibración del aparato, llenar todos los registros en los papeles correspondientes, revisar todo el proceso de reparación y regresar el aparato reparado a su lugar de origen y en condiciones de servicio. Nuevamente, le insistimos haga anotaciones en su libreta personal ¿cómo encontró la falla?, ¿qué la produjo? Las respuestas a estas preguntas son muy importantes y debe hacerlas del conocimiento del operario del equipo. ¿Qué partes o refacciones reemplazó? ¿Cuáles sustituyó con piezas que realizan la misma función, pero son de otra marca? **Alcanzará la excelencia en su trabajo cuando logre hacer innovaciones de adaptación de lo que tiene en un mercado más accesible.** Este registro de sus observaciones será de gran valor posteriormente: a tal grado, que después le permitirá recuperar tiempo y dinero.

Antes de regresar un aparato reparado a su servicio, deberán corregirse todas las fallas menores, tales como ruedas chuecas, botones u otras partes sueltas, tuercas o tornillos faltantes, etcétera; además de que deberá entregarse limpio y con una hoja (tarjeta adherida al instrumento) de indicaciones para el mantenimiento preventivo.

I. QUITAR COMPONENTES

Piense y planee **antes** de quitar cualquier componente. Podría ser necesario destruir o dañar un componente para poderlo quitar. Esto es preferible a dañar severamente toda una tarjeta de circuito impreso o algún otro montaje.

1. Considere cuidadosamente el proceso de desensamblar necesario, para el acceso adecuado al componente defectuoso. Desensamble en una secuencia lógica. En su cuaderno personal, por

favor, **no en hojas sueltas** haga diagramas o esquemas para recordar dónde van las cosas. Por lo general, es muy conveniente colocar las cosas en su banco de trabajo en el orden en que fueron quitadas para asegurar un ensamblado correcto. Hacer un diagrama o esquema puede ser especialmente importante cuando el re-ensamblado va a realizarse posteriormente debido a que hay que esperar a tener repuestos. Insistimos, esas anotaciones son básicas para futuras reparaciones o para acciones de capacitación a otros compañeros de trabajo.

2. Si el componente está localizado en un tablero matriz, podría ser más fácil reemplazar el componente del mismo lado del tablero, de tal manera que no se requiera acceso a ambos lados y quitar todo el tablero. Simplemente corte las terminales lo más cerca al componente, estire las terminales restantes y conecte el componente de repuesto.
3. Cuídese de no aplicar demasiado calor cuanto quite alambres o componentes. El aislante fundido puede causar problemas posteriores y además da un aspecto desordenado a su reparación. Demasiado calor puede dañar los dispositivos semiconductores en tal forma que puede no ser aparente en el momento, pero puede posteriormente causar fallas.
4. Utilice las herramientas apropiadas para el trabajo que va a realizar.
5. Cuídese de la electricidad estática, de cortocircuitos accidentales etcétera.
6. Cuidadosamente analice lo correcto de la alineación mecánica que puede ser crítica para el adecuado funcionamiento del aparato. Utilice marcas de grafito o cualquier otro medio para permitir una fácil y mejor alineación.

II. INSTALACION DEL COMPONENTE

Ponga especial cuidado al instalar los componentes.

1. Buenas técnicas de soldadura son importantes para asegurar adecuadas conexiones eléctricas, para

- evitar el sobrecalentamiento y daños en otras partes del circuito o del dispositivo.
2. El componente de repuesto puede ser dañado por deformación mecánica o por sobrecalentamiento.
 3. La tarjeta del circuito o la montura del componente puede ser dañada.
 4. El aislante o cubiertas pueden dañarse por cortaduras, rayaduras o sobrecalentamiento.
 5. La electricidad estática es un peligro siempre presente.
 6. A menudo es útil instalar una base cuando se reemplaza un circuito integrado para evitar daño a la tarjeta y facilitar las reparaciones futuras.

III. SUSTITUCION DE COMPONENTES

Muy a menudo no se dispone de la pieza exacta de repuesto por lo que deberá elegir un componente sustituto. Debe tener especial cuidado al elegir el componente sustituto; debe analizar su funcionamiento con carga. Con una selección apropiada, la sustitución de componentes puede ser una forma muy efectiva para reparar rápidamente un instrumento.

Cuando seleccione un sustituto:

1. Determine cuidadosamente las características del componente que quiere sustituir.
 - a. En el caso de un resistor pueden ser la estabilidad, precisión, potencia nominal y/o el valor.
 - b. En el caso de un transistor, el voltaje, la corriente y la potencia nominal son a menudo las características más importantes.
 - c. En el caso de los capacitores pueden ser las características del valor, el voltaje nominal, la fuga o la frecuencia, los factores más importantes para encontrar un sustituto.
 2. Es indispensable hacer notar que un sustituto satisfactorio debe ser equivalente o mejor que el original en todas las características importantes. Además, que el sustituto debe estar disponible en el mercado nacional.
 3. Los libros o catálogos con buena información y datos son esenciales en el proceso de selección de un sustituto apropiado.
 4. Un amplificador operacional del tipo 741 puede ser sustituido por la mayoría de los amplificadores operacionales comunes.
 5. Los dispositivos 74LSXX pueden ser sustituidos casi siempre por circuitos TTL serie 74XX. El factor más importante es la carga de salida. La sustitución inversa puede también realizarse tomando en cuenta las restricciones de la fuente de poder.
 6. Los dispositivos de rangos más elevados de potencia, corriente o voltaje pueden a menudo ser sustituidos por dispositivos de menores rangos.
 7. Pueden obtenerse mayores rangos de potencia para los resistores conectándolos en paralelo. Asegúrese de que la resistencia final equivalente sea la correcta.
 8. Los diodos rectificadores pueden conectarse en serie para obtener una tensión inversa máxima (de pico). Es recomendable que al conectar los diodos en serie, se coloquen los resistores de valores elevados en paralelo con cada diodo para distribuir el voltaje durante condiciones de voltaje de polarización inversa. Si existen voltajes inversos elevados, debe tomarse en cuenta la especificación de voltaje del resistor.
 9. Un valor bajo, un resistor de poca potencia (vatiage bajo) puede ser sustituido por un fusible en caso de emergencia.
 10. No es recomendable utilizar un **fusible que funde rápidamente en sustitución de uno lento, o viceversa.**
 11. En casos de emergencia extrema, el dispositivo o el circuito pueden ser modificados para permitir la sustitución por un componente disponible.
- La selección de un sustituto apropiado requiere de un buen conocimiento de las características de los componentes y de una habilidad para analizar un circuito, y de esa manera ser capaz de determinar los parámetros más importantes que debe llenar el sustituto. En la actualidad, son cada vez más importantes los laboratorios de metrología; éstos empiezan ya a desarrollarse en los países latinoamericanos; será función de usted hacer mayor uso de estas facilidades.

APENDICE A

CAPITULO VIII

REPARACION DE TARJETAS DE CIRCUITO IMPRESO¹

Introducción

Puesto que existen procedimientos eficientes para la localización lógica de fallas, deben existir también técnicas reconocidas para desmontar los componentes defectuosos, instalar nuevos y, en general, reparar las tarjetas de circuitos impresos defectuosas. Existen, de hecho, procedimientos aceptados y en este apéndice se describen algunos de los métodos estandarizados que se emplean en una Compañía Americana para la reparación y limpieza de las tarjetas de circuitos impresos.

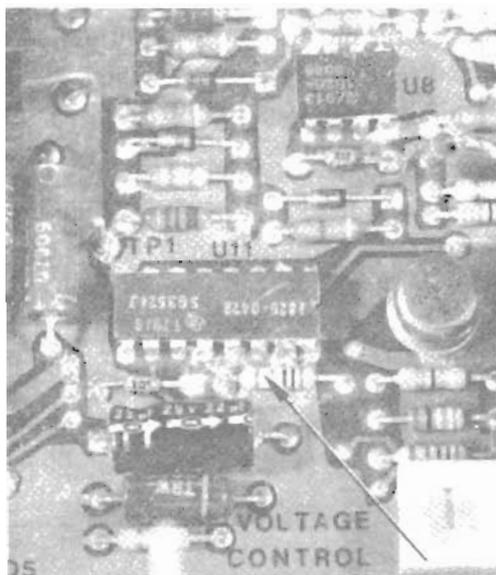


Figura VIII(A)-1. Nótese el área se recalentada, indicada por la flecha. La tarjeta había sido "intervenida" en muchas otras áreas con el mismo acabado deficiente.

Quizá usted se haga la pregunta ¿cuál es la dificultad para remplazar un circuito impreso?. Como puede ver en la figura 1, algunas personas requieren de ayuda. Es probable que la persona que reparó la tarjeta haya empleado una pistola de soldar de 100 vatios en el área indicada por la flecha. La figura 2 muestra un área diferente reparada con una buena

técnica de soldadura, pero luego la persona cometió el error de tratar de remover el exceso de resina con una herramienta filosa.



Figura VIII(A)-2. Después de soldar un nuevo componente en su lugar, la persona que hizo el trabajo trató de remover el exceso de resina raspando con una herramienta filosa. Definitivamente no es aceptable este trabajo.

Desmontar un componente

Una vez que encuentre la falla, el primer paso es desmontar la pieza defectuosa. Un método consiste en simplemente cortar las uniones de la pieza (siempre y cuando no intente volverla a instalar), y luego retirar las "patitas" o terminales, una por una, empleando para ello un caudín de soldar conectado a tierra y una pinza de punta (ver las figuras 3 y 4). Este método es muy efectivo, puesto que minimiza las probabilidades de sobrecalentamiento y, por consiguiente, de causar daño en la tarjeta de circuito impreso.

1 Traducción de: "Printed Circuit Board Rework, Repair and Cleaning", Jim Bechtold. Reproducido con permiso de Bench Briefs, julio-octubre 1982, (una publicación al servicio de Hewlett-Packard), con adaptaciones al medio latinoamericano.

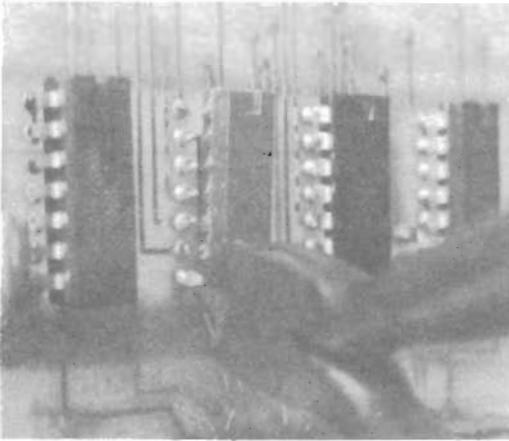


Figura VIII(A)-3. Método de corte. Cada terminal se corta lo más cercano posible al cuerpo del componente.

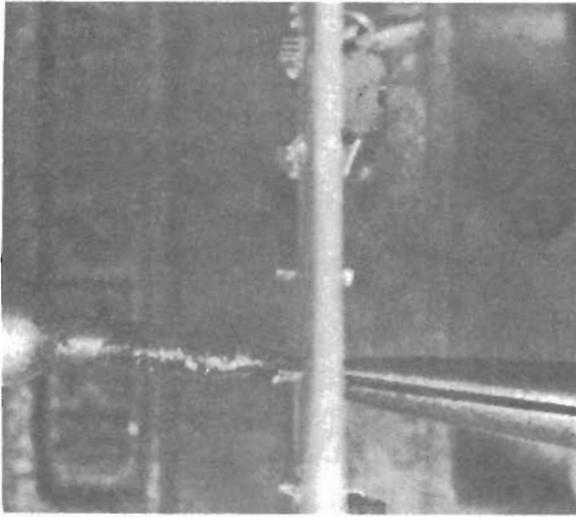


Figura VIII(A)-4. Las "patitas" restantes se retiran con un cautín de soldar y pinzas en punta. Un poquito de soldadura aplicada en la conexión mejorará la transferencia de calor y facilitará desmontar la "patita".

Otro método consiste en desoldar cada terminal, calentándola por un lado y eliminando la soldadura por el otro lado con un succionador de soldadura antiestático (ver la figura 5). Pero, ¡tenga cuidado! El succionador inadecuado (plástico) puede producir potenciales estáticos mayores de 5 kV -más que suficientes para dañar la mayoría de los circuitos integrados.

No importa qué método use, cuando caliente el orificio ya sea para retirar la terminal o la soldadura agregue un poco más de soldadura nueva a la "plaquita" (o base terminal u ojillo). Esto hará que la soldadura fluya rápidamente (debido a la eficiente transferencia de calor) y facilitará el retirar la terminal.

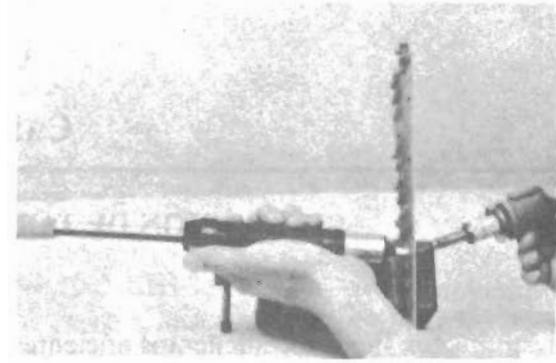


Figura VIII(A)-5. El exceso de soldadura se elimina de los orificios con un dispositivo manual de aspiración al vacío. Un poco de soldadura nueva aplicada en la conexión producirá un flujo rápido y facilitará la eliminación de la soldadura.

I. INSTALACION DE COMPONENTES

Requerimientos de Montaje

La reposición de un componente debe hacerse siempre montándolo en forma similar al original. Debe montar los componentes de tal manera que el cuerpo del componente esté lo más próximo posible a la tarjeta. Si el componente está recubierto (tal como el capacitor que se muestra en la figura 6) el recubrimiento de la terminal puede extenderse hasta el orificio siempre y cuando la terminal se solde apropiadamente en el lado del circuito de la tarjeta y exhiba una soldadura de loma (o montículo aceptable (vea la figura 21). Una alternativa mejor es emplear "cuentas" para mantener el recubrimiento fuera de los orificios (Fig. 6).

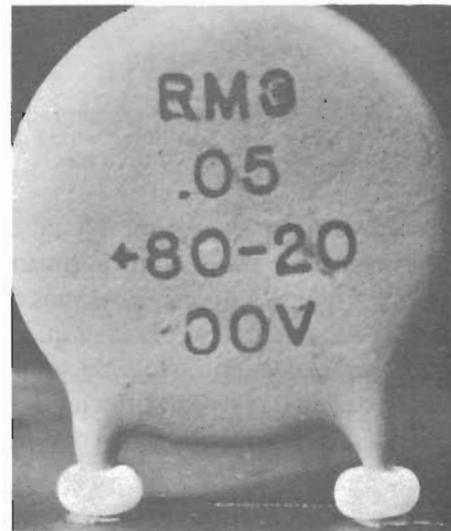
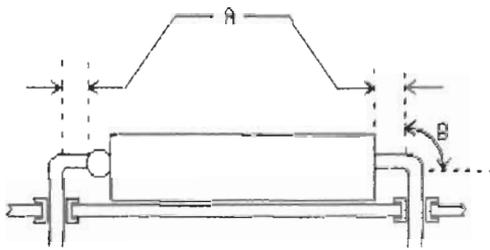


Figura VIII(A)-6. En este capacitor se han usado "cuentas" para mantener el recubrimiento fuera de los orificios.

Formación de las terminales con disminución de la tensión

Las terminales de los componentes deben enderezarse y alinearse antes de insertarlas en la tarjeta. Las terminales deben sostenerse con una herramienta adecuada durante su alineación para evitar la transmisión de fuerzas de tensión hacia el componente, lo que produce una fractura interna. Muchos téc-



- A) Distancia igual al diámetro de la terminal
- B) Radio mayor que medio diámetro de la terminal

Figura VIII(A)-7. Doble recomendada de la terminal y su orientación.

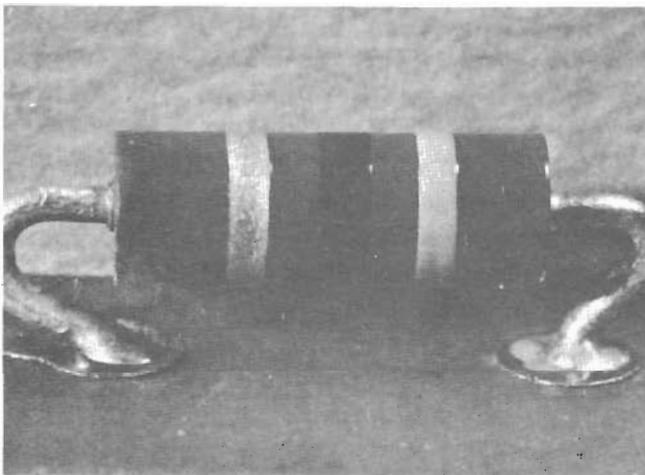


Figura VIII(A)-8. Los orificios de montaje están demasiado próximos para este resistor. Este tipo de montaje es aceptable aunque no recomendable. La figura 9 muestra una alternativa mejor.

nicos emplean pinzas de punta entre el doblado y el componente bajo tensión. La terminal del componente debe extenderse en forma recta, saliendo del cuerpo del componente a una distancia mínima igual al diámetro de la terminal antes del inicio del doblado, y el radio del doblado debe ser mayor de la mitad del diámetro de la terminal. La figura 7 muestra la

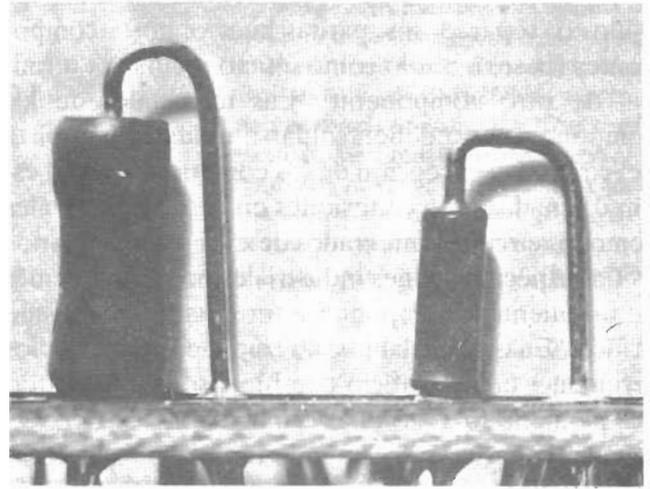


Figura VIII(A)-9. Montaje aceptable cuando los orificios están demasiado próximos. Se recomienda el uso de "cuentas" aislantes para separar los componentes de la tarjeta de circuito impreso.

orientación recomendada para el componente. Nótese que la terminal entra al orificio aproximadamente en forma paralela al eje del orificio. Esto proporciona una menor tensión que permite la expansión, contracción y flexión de la tarjeta.

No se recomienda (aunque es aceptable) que las terminales de los componentes se doblen por abajo del componente para que se ajusten a los orificios de montaje que están demasiado próximos (Fig. 8). Una alternativa es montar el componente verticalmente, de tal manera que sus ejes sean lo más prácticamente paralelos o perpendiculares a la base de montaje (Fig. 9). Para evitar tensión en las terminales, los componentes no deben ser doblados para colocarlos en posición una vez que un extremo del componente ya haya sido soldado en su lugar.

Daño en las terminales del componente

Debe tenerse extremo cuidado al hacer los dobleces para evitar el raspar o distorsionar las terminales del componente. No es aceptable ninguna muesca en el doblado de la terminal, ni tampoco que el metal de la terminal tenga un daño mayor del 25% del diámetro de la terminal.

Adición de nuevos componentes

La adición de componentes para modificar el funcionamiento de un circuito debe especificarse de acuerdo a procedimientos actualizados. En general,

para el montaje de nuevos componentes deben usarse los orificios metalizados existentes, así como los ojillos o separadores, patitas huecas, porta-componentes (bases), o sólo como último recurso la terminal de otro componente. Las terminales de los componentes no deben soldarse unidas a una pista del circuito, a excepción de los componentes que están diseñados para conexiones en la superficie, tales como los circuitos integrados de encapsulado plano.

Las especificaciones industriales no permiten más de un puente o componente terminal en un mismo orificio. En otras palabras, no trate de aglomerar dos terminales en un orificio que fue diseñado (taladrado) para una sola terminal. Sin embargo, existen terminales especiales de "hoja de trébol", o conectores de orificios múltiples que pueden insertarse en la tarjeta y que pueden aceptar hasta cinco terminales.

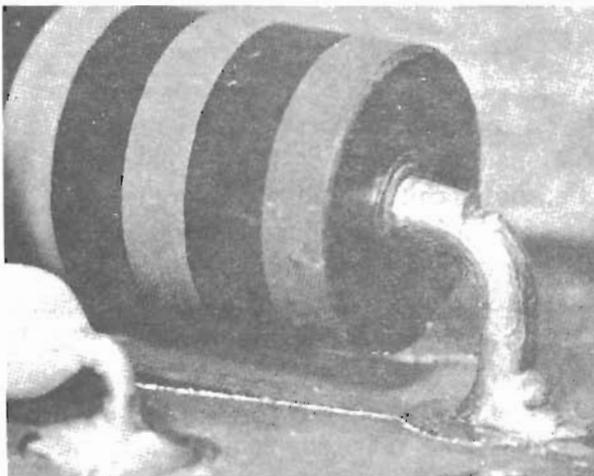


Figura VIII(A)-10. Ejemplo de una terminal de resistor que presenta una indentación. El técnico probablemente empleó pinza de corte diagonal para sostener la terminal al estarla doblando.

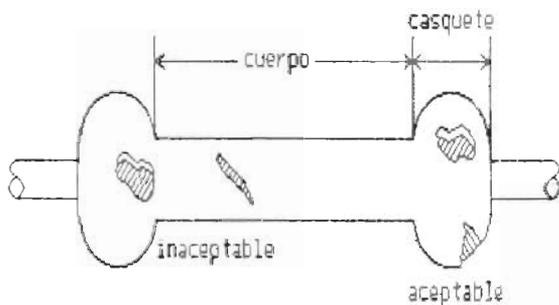


Figura VIII(A)-11. Ejemplos de daños en un resistor que son aceptables en ciertas áreas, pero no en otras.

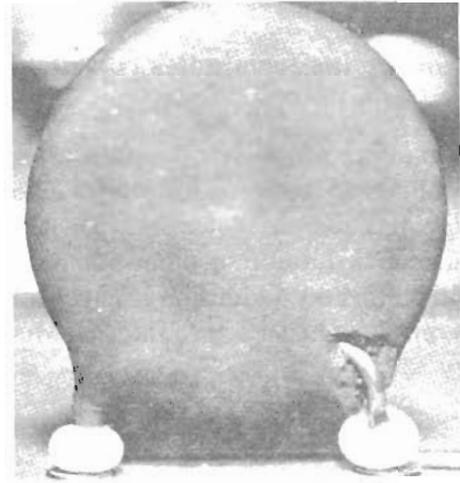


Figura VIII(A)-12. Ejemplo de daño en un capacitor que no es aceptable.

Componentes dañados

Cuando se noten resquebrajaduras, descarapeladas o raspaduras en cualquier componente es indispensable comprobar que éstas no producen alteraciones eléctricas en su funcionamiento. Los resistores y los capacitores son, con frecuencia, susceptibles a este tipo de daño y por consiguiente deben ser inspeccionados con cuidado. Las figuras 10, 11 y 12 son ejemplos típicos de daño al cuerpo de estos componentes.

Proceso de soldadura

El soldar es un arte y cada individuo tiene su propio nivel de habilidad y toque personal. Sin embargo, un toque demasiado fuerte o un cautín demasiado caliente hace que la "plaquita" (o base terminal) se sobrecaliente, produciendo desprendimiento de la pista del circuito, con probable daño al componente. Un toque demasiado suave o un cautín demasiado frío producen una unión de soldadura fría, la cual puede después generar fallas intermitentes.

Unión de soldadura terminada

Una conexión terminada debe mostrar una unión sólida entre la terminal y la "plaquita" (o base terminal) del circuito. La figura 13 muestra una unión de soldadura perfecta, ligeramente cóncava con buena penetración. La figura 14 muestra una unión plana aceptable con un mínimo de soldadura, pero con buena penetración. La figura 15 muestra otra solda-

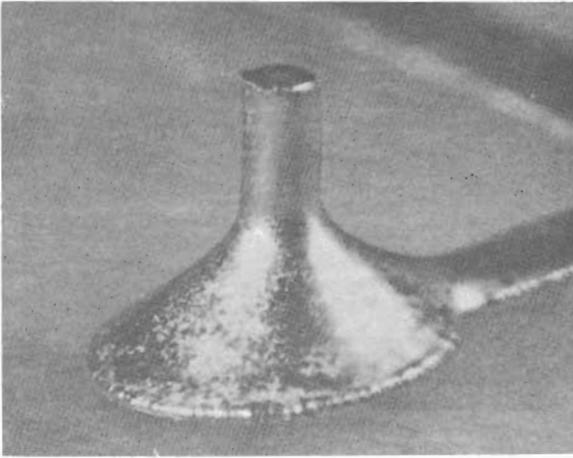


Figura VIII(A)-13. La mejor unión de soldadura. Buena penetración, cóncava con la cantidad ideal de soldadura y la terminal queda visible.

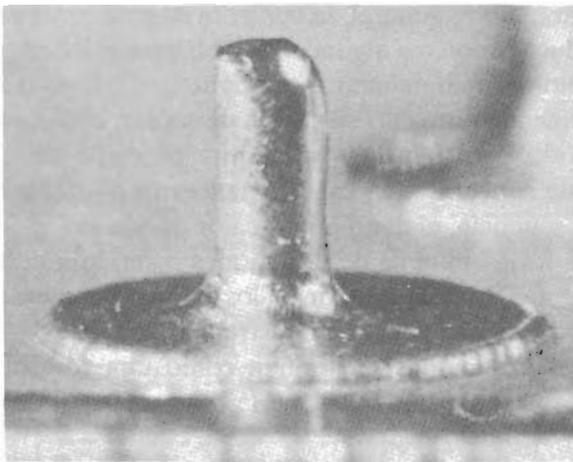


Figura VIII(A)-14. Unión de soldadura aceptable. Buena penetración, plana con mínimo de soldadura y la terminal queda visible.

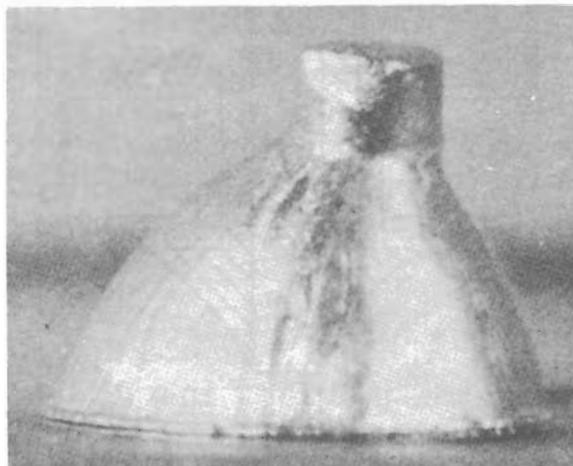


Figura VIII(A)-15. Unión de soldadura aceptable. Buen flujo, convexa con un máximo de soldadura y la terminal queda visible.

dures que es aceptable con un máximo de soldadura que forma una unión convexa pero con buena penetración. Nótese que en todas las buenas uniones pueden verse las terminales que sobresalen. Este es un signo de buena unión, puesto que le asegura que la terminal se encuentra ahí. Vea la unión de la figura 16. Un bonito montículo de soldadura, pero ¿está realmente unida la terminal? Esta unión, aunque no es recomendada, es aceptable siempre y cuando en el lado del componente, la terminal y la "plaquita" (o base terminal) se hayan fundido apropiadamente. (vea más adelante y observe la figura 22).

Ahora observe las figuras 17 y 18. La figura 17 muestra un buen ejemplo de una "unión de soldadura fría", donde la terminal fue movida antes de que se enfriara la soldadura. La figura 18 representa otra "unión de soldadura fría" donde no se aplicó suficiente calor, o la "plaquita" (o base terminal) no estaba suficientemente limpia. La figura 19 muestra una técnica no aceptable para eliminar el exceso de soldadura de una pista.

¿Empleó suficiente soldadura?

Una conexión terminada debe mostrar un montículo cristalizado entre la terminal y ya sea el circuito o la "plaquita" (o base terminal) del componente, tal como se muestra en la figura 20. La soldadura mínima es cuando ésta llena por lo menos la mitad del orificio y la terminal y la "plaquita" (o base terminal) se han fundido adecuadamente en el lado reverso, como se muestra en la figura 21. Note que puede verse la terminal. La soldadura mínima, como se

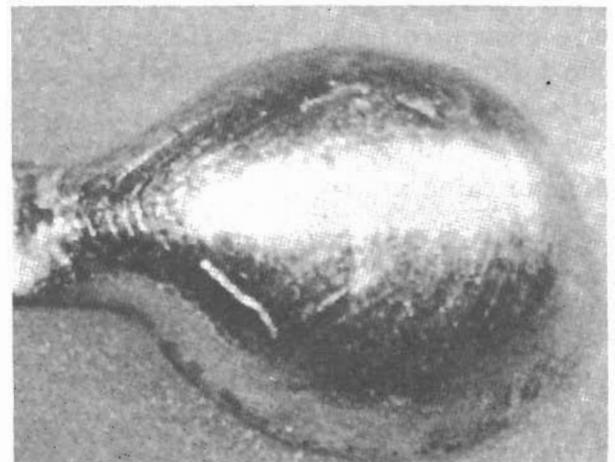


Figura VIII(A)-16. Unión de soldadura normalmente no aceptable. La terminal no está visible y puede no estar haciendo contacto con la soldadura. Refiérase a la figura 22 para tener un ejemplo de cuándo es aceptable esta unión.

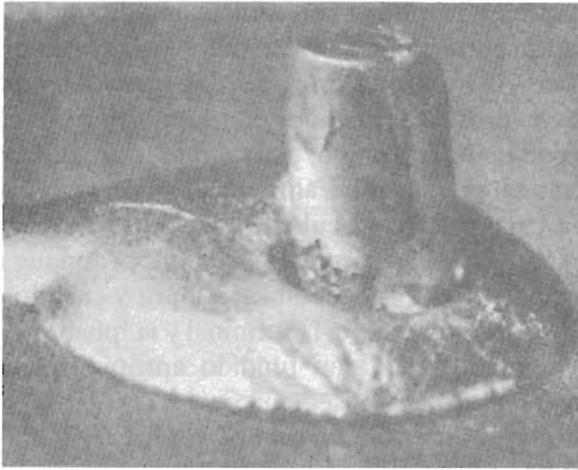


Figura VIII(A)-17. Unión de soldadura fría no aceptable. La terminal fue movida antes de que se enfriara la soldadura.

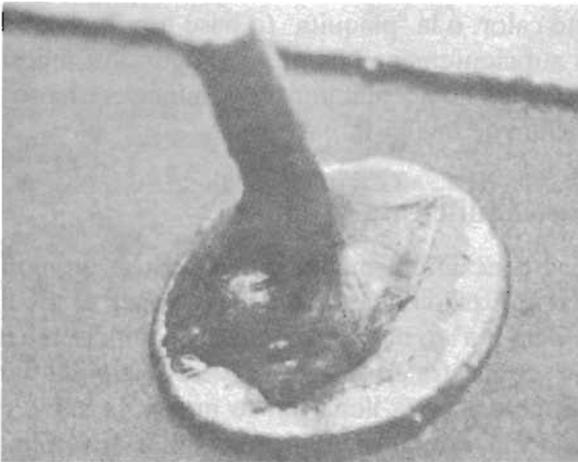


Figura VIII(A)-18. Unión de soldadura fría no aceptable. No hubo suficiente calor o no se limpió adecuadamente para hacer fluir la soldadura.

muestra en la figura 22, también es aceptable mientras se mantenga el montículo en el lado del componente de la tarjeta. Note que la terminal no es visible en el lado de la soldadura.

Daño por calor

Las tarjetas de circuitos impresos son susceptibles al calor debido a su construcción laminada de fibra de vidrio con cubierta epóxica. En el proceso de ensamblaje por soldadura de "ola" (Soldadura simultánea de las conexiones de una tarjeta de circuito impreso, moviendo ésta sobre una ola sostenida de la soldadura fundida). Este procedimiento, que permite regular precisamente la profundidad de inmersión de la tarjeta y da por resultado un calentamiento mínimo de ésta, es un perfecciona-

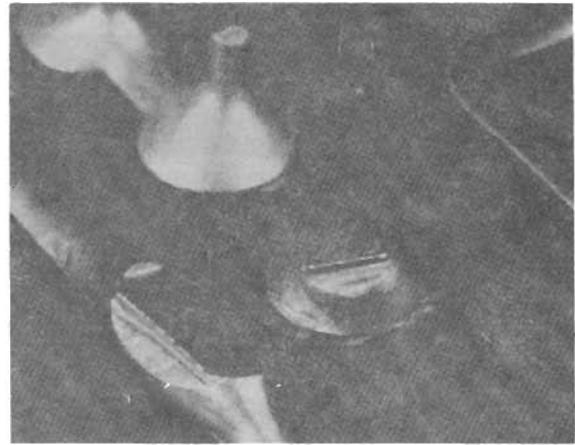


Figura VIII(A)-19. Corte de terminal y soldadura no aceptables.

miento del procedimiento ya clásico de soldadura por inmersión: el calor requerido para fundir la soldadura, por lo general, se controla muy de cerca y no produce problema alguno. Sin embargo, al insertar o desmontar manualmente componentes individuales, empleando para ello un cautín de soldar, el calor requerido para fundir la soldadura proviene de una fuente concentrada y está sujeta a error humano. En consecuencia, el daño por el calor puede variar desde la forma mínima de erupciones como lo muestra la figura 23, hasta el peor de los casos de una base o pista levantada como lo muestra la figura 24.

Las erupciones se definen como una condición existente en el laminado de la base en la forma de

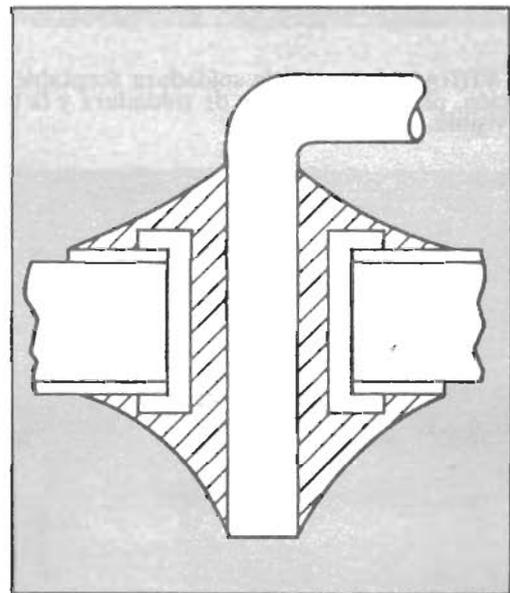


Figura VIII(A)-20. Ejemplo de una buena unión del ojillo al montículo de soldadura en la pista del circuito. Además de la unión a la terminal, el montículo de soldadura debe asegurar la unión del ojillo a la "isla" (o base terminal) en ambos lados de la tarjeta.

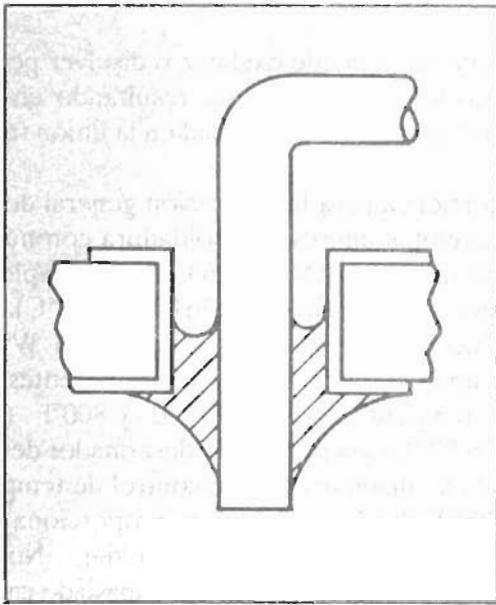


Figura VIII(A)-21. Montículo de soldadura aceptable, sólo porque no hay ojillo.

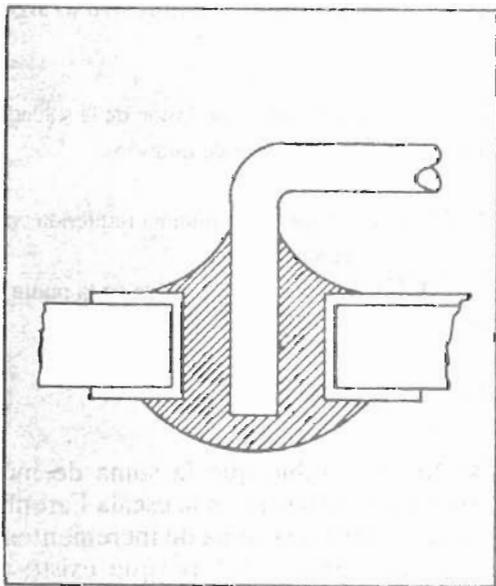


Figura VIII(A)-22. Montículo de soldadura aceptable y colocación de la terminal. Note que la terminal no está visible en el otro lado de la tarjeta.

puntos blancos discretos o "cruces" por abajo de la superficie del laminado de la base, lo cual refleja separación de las fibras en la malla de la fibra de vidrio, en la intersección del tejido. Las erupciones no son aceptables si existe una vía continua entre dos conductores o "islas" (ver figura 25).

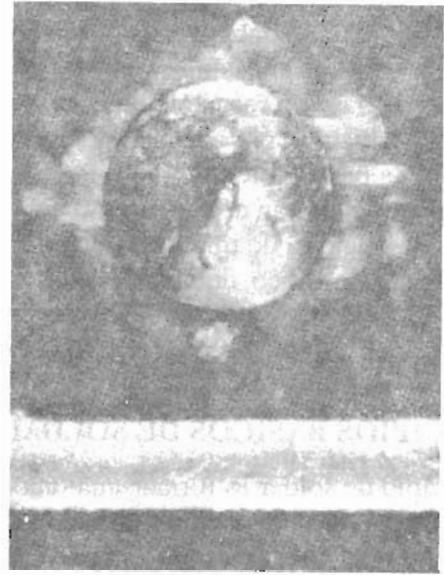


Figura VIII(A)-23. Erupciones aceptables. La deslaminación se localiza alrededor de la "isla" (o base terminal) y no hace puente con las pistas adyacentes

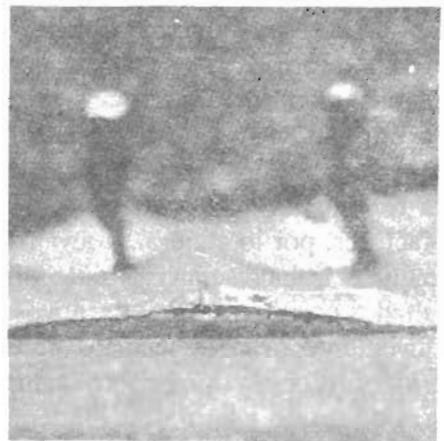


Figura VIII(A)-24. Ejemplo de una pista levantada no aceptable.

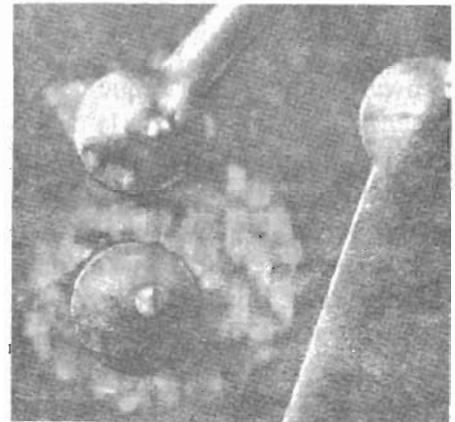


Figura VIII(A)-25. Erupciones no aceptables. El área deslaminada hace puente entre dos "islas".

Otra forma de daño debido al calor se conoce como "aureola". Esta es una condición que existe en el laminado de la base en forma de un área clara alrededor de los orificios o por abajo de la superficie del laminado de la base. Note que tanto las erupciones como la aureola denotan deslaminación del material de la tarjeta. Además, de que no es deseable desde el punto de vista estético, debilitan la estructura del circuito e introducen vías para fugas y contaminación.

II. PRINCIPIOS BASICOS DE SOLDADURA

El principio de soldar es formar una unión metalúrgica entre metales empleando un metal de relleno (soldadura) el cual se funde a menos de 800°F (427°C). La fortaleza de la unión depende de la difusión del metal base con la soldadura.

Casi con seguridad puede decirse que aunque la mayoría de los técnicos son capaces de fundir la soldadura y lograr una buena unión, no tienen idea de cuál es la temperatura de la punta de su caudín de soldar, o no saben con precisión qué tipo de pasta (fundente) contiene en su interior la soldadura; éstos son probablemente los dos factores más importantes para realizar un buen trabajo de soldadura. Estos dos factores, por lo general, se evalúan hasta después de que el trabajo se ha realizado, al comparar los resultados positivos con los negativos. Por lo cual es conveniente que los técnicos aprendan a identificar los diferentes tipos de soldadura y las temperaturas de fusión y las pastas fundentes. Actualmente es muy común que la soldadura tenga la pasta en su interior (se describe enseguida).

Temperatura

Existen varias temperaturas que deben ser tomadas en cuenta: la temperatura a la cual se funde la soldadura, la temperatura de la punta del caudín de soldar (en grados, no en vatios) y la temperatura máxima que proporcione seguridad a las partes que están siendo soldadas, recuerde que la temperatura de soldar apropiada se encuentra normalmente entre los 16-71°C (60- 160°F) por encima de la **temperatura solidus**. (Curva que representa la temperatura a la cual empiezan a fundirse los componentes de una mezcla líquida en función de la proporción de los mismos.) Esto es debido a que la soldadura que se calienta por encima de su punto de fusión puede no difundirse adecuadamente al metal base; la soldadu-

ra sobrecalentada puede oxidarse o disolver pequeñas cantidades del metal base, resultando en una unión débil, granulosa o debilidad en la unión terminada.

Se recomienda para la reparación general de tarjetas de circuitos impresos la soldadura con núcleo de pasta (fundente), RMA P2 63/37, estaño/plomo, con temperatura de flujo de 361°F (182.8°C). Los cautines de estación, Marca Weller Serie WTCP, emplean una variedad de puntas de diferentes formas con temperaturas de 600, 700 y 800°F (315, 371 y 426.5°C). Una punta tipo desarmador de 1/16 de pulgada de diámetro con un control de temperatura de 700°F (PTA7) es la que se proporciona normalmente con la herramienta de soldar. No use pistolas de soldar ya que generan demasiado calor y nunca deben usarse para soldar manualmente las tarjetas de circuitos impresos.

Puesto que el proceso de soldar se obtiene por abajo de 800°F (427°C), y la soldadura fluye a 360°F (182°C), la aritmética simple nos muestra lo siguiente:

$$\begin{array}{r}
 360^{\circ}\text{F} (182^{\circ}\text{C}) \text{ temperatura de fusión de la soldadura} \\
 + 160^{\circ}\text{F} (71^{\circ}\text{C}) \text{ temperatura de difusión} \\
 \text{-----} \\
 = 520^{\circ}\text{F} (271^{\circ}\text{C}) * \text{ temperatura mínima requerida en la} \\
 \text{punta} \\
 700^{\circ}\text{F} (371^{\circ}\text{C}) \text{ temperatura disponible en la punta} \\
 - 520^{\circ}\text{F} (271^{\circ}\text{C}) \text{ temperatura mínima requerida} \\
 \text{-----} \\
 180^{\circ}\text{F} (82^{\circ}\text{C}) \text{ de seguridad}
 \end{array}$$

*NOTA: No es posible que la suma de incrementos de temperatura en la escala Fahrenheit (°F) corresponda a la suma de incrementos en la escala centígrada (°C) porque existe una relación de 9:5 entre las dos escalas.

Los 180°F (82°C) de seguridad disminuirán sustancialmente cuando la punta se frota sobre la esponja mojada para limpieza, y se disminuye aún más cuando se aplica la punta en la unión. Por ello, la temperatura óptima parece ser la de 700°F (371°C). Una nota de precaución, mientras más veces frote usted su caudín de soldar con una esponja mojada para limpiar la punta, más disminuye la temperatura de la punta. Esto puede ocasionar uniones de soldadura fría o componentes severamente sobrecalentados (ya que se mantiene al caudín de soldar demasiado tiempo en el lugar donde se desea hacer

la soldadura, esperando a que la soldadura se funda).

Pasta (Fundente)

La pasta ayuda en la soldadura. No es posible lograr una soldadura sin ella, excepto bajo condiciones especiales. La mayoría de las soldaduras realizadas en la reparación de tarjetas de circuito impreso emplean soldadura con alma de pasta 63/37 (63% de estaño y 37% de plomo). La ventaja de la soldadura con alma de pasta es que automáticamente asegura la relación correcta de pasta/soldadura si se ha seleccionado la soldadura apropiada. La soldadura con alma de pasta viene en una variedad de diámetros y contiene tres tipos de pastas: la de base de resina, la de ácido orgánico (soluble en agua) y la de ácido inorgánico. La pasta desempeña cuatro funciones vitales en la soldadura:

- Elimina químicamente las películas de decoloración (oxidación) del metal base.
- Desplaza el aire adsorbido y evita la reoxidación de la superficie metálica.
- Facilita la difusión de la soldadura hacia el metal base.
- Ayuda en la transferencia del calor.

Para que la pasta sea efectiva, debe ser utilizada dentro del margen apropiado de temperatura. Si la temperatura de soldar es demasiado baja, los activadores químicos de la pasta no serán liberados y no se eliminará la capa de oxidación. El calentamiento excesivo puede hacer perder las propiedades de difusión de la pasta y propiciar su descomposición, dejando un residuo que puede ser muy difícil de remover.

Los tres tipos de pastas de uso común son:

- Base de resina. Una combinación de diversos compuestos destilados de la sabia de los pinos.
- Acido orgánico (soluble en agua). Más activa y más corrosiva que las del tipo de base de resina. Por lo general se les considera demasiado corrosivas para ser empleadas en soldaduras manuales y se emplean principalmente en máquinas de soldadura de ola, las cuales incorporan la soldadura a través de ciclos de limpieza/neutralizadores.
- Acido inorgánico. Emplea un ácido fuerte tal como el hidroclorehídrico, hidrofúrico o el ortofosfórico como agente activo. Se emplea para soldar materiales altamente corroídos o difíciles de soldar por otras razones (tal como

el estaño galvanizado). Es muy corrosiva y no debe nunca emplearse para trabajos de tipo eléctrico.

Pasta de base de resina

Existen tres variedades principales de la pasta con base de resina.

- Pasta tipo R. Se hace a base de resina pura disuelta en un vehículo disolvente. La resina pura tiene todas las cualidades de una buena pasta de soldadura, excepto que sólo reduce muy débilmente los óxidos superficiales. Es totalmente no-corrosiva y no-conductiva y es adecuada para soldar cobre recién limpiado. La resina tiene además la ventaja de que una vez que se ha solidificado no absorbe agua.
- Pasta tipo-RMA (por sus siglas en inglés, Rosin Mildly Activated, Resina débilmente Activada). Pasta adicionada con un activador químico débil para remover las películas moderadas de óxido del metal que va a ser soldado. Es esencialmente no-corrosiva después de haber soldado.
- Pasta tipo-RA (por sus siglas en inglés, Rosin Fully Activated) adicionada con un activador más potente para trabajos de soldadura más rudos. En general, no se recomienda para soldadura manual de tarjetas de circuito impreso de elevada confiabilidad.

Al seleccionar una pasta, la idea es seleccionar la pasta con el nivel más bajo de activación que pueda realizar el trabajo. Si tiene problemas con una capacidad inadecuada de soldar pruebe una pasta más altamente activada (aunque, por lo general, la limpieza de las terminales y/o mejorar la transferencia de calor son mejores soluciones). La corrosión o problemas de fugas eléctricas podrían sugerir el uso de un material menos activado. Se recomienda la soldadura tipo RMA-P2 para todas las reparaciones de tarjetas de circuito impreso.

Las pastas de resina también se clasifican de acuerdo a la densidad, que es el porcentaje de sólidos en la pasta. Las pastas de baja densidad fluyen mejor, mientras que las pasta de alta densidad cubren mejor. Un recubrimiento inadecuado sugeriría una densidad más alta, mientras que la eliminación inadecuada del residuo de pasta en el proceso de limpieza puede indicar una densidad menor. El tipo de soldadura RMA P2, contiene 2.2% de sólidos por lo que es recomendable.

Limpiar o no limpiar

La limpieza de las tarjetas de circuito impreso es fundamental para obtener confiabilidad en el circuito. Los activadores usados en la pasta contienen un número de contaminantes iónicos (principalmente cloruros) que corroen las pistas e inducen fuga de corriente en condiciones de humedad elevada.

Sin embargo, los tipos R y RMA pueden dejarse sobre la tarjeta después de haber soldado manualmente. La pasta tipo RA no debe ser usada para soldar manualmente equipo de alta confiabilidad. Si el tipo RA fuese absolutamente necesario para soldar manualmente, o si la pasta tiene que removerse por razones de apariencia u otras razones, el proceso de limpieza debe incluir el lavado con un disolvente bipolar para remover la resina y luego deben hacerse lavados en soluciones progresivamente más limpias de alcohol/agua para eliminar los contaminantes. Se recomienda además un último enjuague en agua destilada o desionizada.

III. REPARACION DE PISTAS Y PLAQUITAS ("ISLAS")

La decisión de reparar una pista o la plaquita de base terminal no debe hacerse a la ligera. El criterio básico es que la reparación debe regresar la tarjeta a su condición original de funcionamiento. Cuando tome la decisión de reparar o alterar un circuito, debe tomar en cuenta los siguientes puntos:

- ¿Afectará adversamente la reparación el diseño funcional y la confiabilidad del circuito?
- ¿Puede hacerse la reparación en forma limpia y lógica?
- ¿Disminuirá su confianza en el producto por la apariencia resultante?
- ¿Se afectará adversamente el campo por la reparación?

Definiciones de pistas dañadas que requieren reparación

¿Qué tipo de daño en la pista requiere reparación? Los siguientes puntos conforman una lista de verificación.

- Pista levantada de la tarjeta.

- Rotura total.
- Faltaba un tercio o más de la pista, debido a una fisura, agujero, quemadura, etcétera (Fig. 26).
- La pista está rayada y se alcanza a ver el cobre.
- Cualesquiera pistas internas en una tarjeta de capas múltiples que estén conectadas al pasante de una "isla" (o base terminal) levantada tienen que ser duplicadas. Sin embargo, bajo condiciones normales, estas tarjetas serían descartadas, puesto que el costo de la mano de obra excedería el costo de una tarjeta nueva. (Deberá analizarse esta aseveración en los países del área latinoamericana.)

Definiciones de "islas" dañadas que requieren reparación

La siguiente es una lista de daño en las "islas" que requieren reparación.

- Un tercio o más de la "isla" (o base terminal), que tiene conectada una pista, falta o se está levantando.
- Rotura total por la cual la "isla" (o base terminal) se separa de la pista.
- Un ojillo, tambor, o pasante en el cual falta cualquier parte del tambor.

Métodos aceptables para la reparación de pistas e "islas"

Los dos métodos comunes de reparación de pistas emplean puentes de alambre o cinta de oro soldada. La cinta de oro soldada produce un mejor acabado; sin embargo, requiere de herramientas y procedimientos especiales, los cuales, por lo general, no están disponibles en los talleres de reparación.

Reparación con puentes de alambre

El puente de alambre no debe usarse para reparar roturas de más de la mitad del ancho de la pista.

1. Limpie ambos lados de la rotura, por lo menos a una distancia de unos 6 mm (1/4 de pulgada) de la rotura.
2. Corte un pedazo de alambre del calibre No 22 ó 24 AWG (American Wire Gauge) de cobre esta-

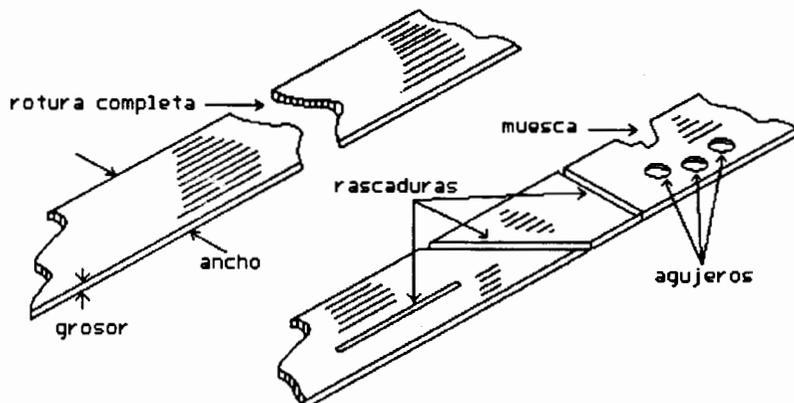


Figura VIII(A)-26. Ejemplo de daño en la pista que puede ser reparado.

Procedimiento de reparación: Reparación recomendada

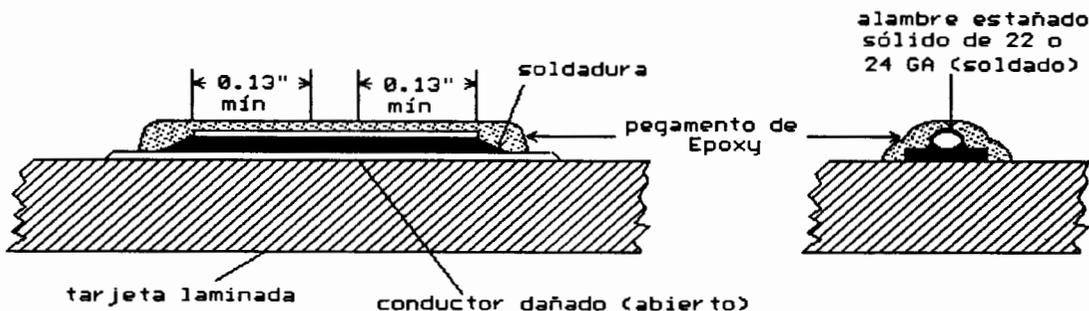


Figura VIII(A)-27. Reparación con puente de alambre sobre una pista dañada.

ñado sólido por lo menos 6 mm (1/4 de pulgada) más grande que la rotura.

3. Sostenga el alambre en la línea central de la pista a través de la rotura y sòldelo a su posición correcta (Fig. 27).
4. Haga fluir una pequeña cantidad de cemento epóxico en forma pareja sobre toda el área reparada y permita que se seque adecuadamente.

Reparación de "islas"

La reparación más común de "islas" (o base terminal) consiste en remplazar la "isla" (o base terminal) levantada o separada de una tarjeta de una sola cara. Note que si se daña una "isla" (o base terminal) en una tarjeta de capas múltiples y no tiene pistas externas conectadas, la "isla" (o base terminal), por lo general, no requiere ser remplazada, pero todas

las pistas internas tienen que ser duplicadas. Sin embargo, bajo circunstancias normales, estas tarjetas probablemente se descartarían puesto que el costo de la mano de obra excedería el costo de una tarjeta nueva. (Se insiste, esta aseveración debe evaluarse en los países latinoamericanos y, en el análisis del costo deben incluirse los tiempos de espera y de trámites de importación.)

1. Perfore a través del agujero existente hasta alcanzar el tamaño del ojillo correspondiente. Asegúrese que la pista del lado opuesto no se dañe o se deslamine por el proceso de perforación (Fig. 28).
2. Inserte y coloque firmemente en posición el ojillo en las superficies existentes de la "isla" (o base terminal).

compañías han cambiado al uso exclusivo de la soldadura RMA P2 para los trabajos de soldadura manual, puesto que contiene mucho menos cloruros que la soldadura RA. Refiérase al inciso correspondiente en Técnicas de Soldadura para mayor información al respecto.

En la mayoría de los casos usted no puede ver el residuo a simple vista. La tarjeta se ve limpia, pero no lo está. Bajo estas condiciones es muy posible que una tarjeta que se vea limpia en realidad sea de menor calidad que una con montículos de pasta que no han sido interferidos en su composición. Observe la figura 29 para que tenga un ejemplo de pasta sobrante y la figura 30 para uno de la corrosión producida por los activadores.

Otras técnicas de limpieza no recomendables

Se ha encontrado que diversas técnicas y materiales de uso común pueden afectar la confiabilidad de las tarjetas de circuito impreso y deben ser evitados. Por ejemplo:

- Sumergir tarjetas de circuito impreso con sus componentes en el líquido de limpieza no es recomendable debido a la contaminación potencial de los disolventes y el daño concomitante en algunos componentes. La solución sucia fluye a todas las áreas difíciles de limpiar (interruptores, relés y otras partes encerradas) las cuales no pueden enjuagarse adecuadamente. La solución puede atacar también los capacitores electrolíticos y otros componentes de plástico.
- No se recomienda desengrasar con vapor las tarjetas de circuito impreso con sus componentes (cargadas) por la misma razón anterior. El vapor puede penetrar en las áreas difíciles de limpiar tan fácilmente como el disolvente líquido.
- No se recomienda la limpieza ultrasónica de las tarjetas de circuito impreso, porque la vibración puede causar fallas en los alambres internos de unión de los circuitos integrados.
- No se recomienda el uso de hisopos de algodón para la limpieza puesto que dejan fibras remanentes. Es mejor usar hisopos con puntas de hule espuma.
- Los tejidos de tipo de papel no son recomendables puesto que se desgarran, desintegran y dejan fibras remanentes. Es mucho mejor usar tejidos que no tengan peluzas.

Procedimientos generales de limpieza

Los siguientes procedimientos de limpieza son de naturaleza general y se aplican a la mayoría de las tarjetas de circuito impreso. Los pasos a seguir están graduados desde la limpieza simple (suponiendo que la tarjeta está tan sólo empolvada) hasta la limpieza más profunda con un disolvente fuerte para eliminar la pasta de soldar. Escoja los pasos mínimos suficientes para sus requerimientos de limpieza.

1. El polvo y los residuos pueden, a menudo, eliminarse de las tarjetas de circuito impreso mediante aire comprimido. Pero, primero verifique que el aire esté adecuadamente filtrado; los compresores se caracterizan por el hecho de que agregan aceite y agua al aire que comprimen.
2. Si es necesario (y factible) lavar la tarjeta empleando un jabón suave, de baja espuma, no-iónico, el cual puede eliminarse completamente de la tarjeta al enjuagarse. Asegúrese de limpiar a fondo la tarjeta y luego enjuáguela varias veces con agua limpia. Note que este tipo de lavado no va a remover la pasta de resina.
3. Después de todo este lavado, elimine lo más que pueda el exceso de agua con aire limpio y hornee a aproximadamente 70°C (158°F) durante una hora para secar la tarjeta.
4. Para limpiar los interruptores deslizantes y rotatorios utilice un disolvente en aerosol, MS-180, seguido de la aplicación ligera de un aceite de contacto para uso electrónico tal como el Cramolin o el No-Noise. Estos productos proporcionan una cantidad pequeña de limpieza. al disolver el óxido o la decoloración, pero no atacan el metal, incluyendo los recubrimientos de plata u oro. Una película de vapor muy delgada es lo único que se requiere para sellar los poros en la superficie metálica y disminuir la resistencia de contacto. Siempre elimine el exceso de aceite de contacto, dejando tan sólo la película de vapor muy delgada. La menor cantidad realiza la mejor función.
5. Para limpiar los conectores del tipo BNC use un palillo de dientes de punta redondeada y aplique una pequeña cantidad de MS-180 o Cramolin a la punta. Suavemente inserte la punta en el conductor central de los conectores BNC y déle vueltas al palillo de dientes con sus dedos.

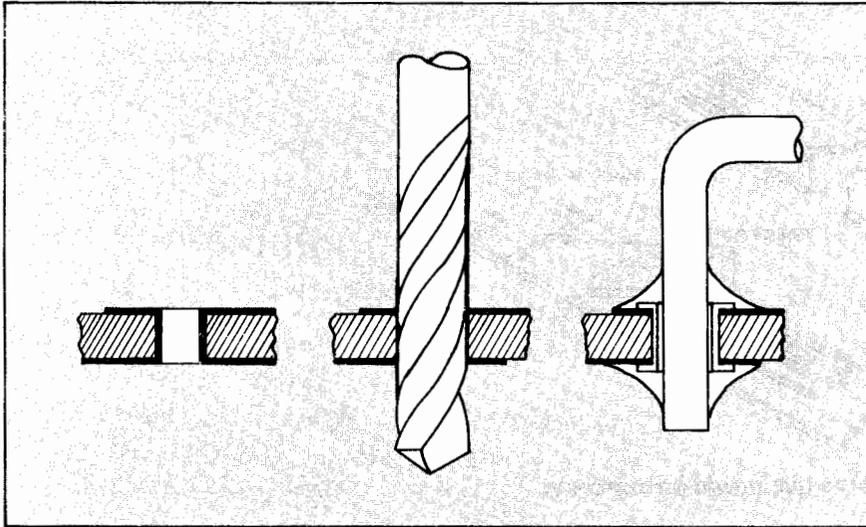


Figura VIII(A)-28. Reparación de una "isla" (o base terminal) utilizando un ojalillo nuevo. Note que el montículo de la soldadura asegura la conexión eléctrica entre el ojalillo y la "isla" (o base terminal) en ambos lados de la tarjeta.

3. Solde el ojalillo a la "isla" (o base terminal) en ambas superficies de la tarjeta, tal como se muestra en las figuras 20 y 28.

Limpieza de la tarjeta de circuito impreso

Hay dos razones principales para limpiar un instrumento, ensamblado con tarjeta de circuito impreso, para deshacerse de intermitencias y para mejorar su aspecto. Una unidad limpiada con esmero es considerada por muchos técnicos y clientes como un signo de una reparación de calidad.

Sin embargo, muchas veces la belleza sólo es superficial. Una tarjeta de circuito impreso que a simple vista aparenta estar limpia puede estar cubierta de contaminantes (debido a limpieza inadecuada), los cuales se pueden combinar con la humedad del aire y causar corrosión extensa.

¿Y qué hay de las intermitencias? Déle un golpecito al instrumento ¿deja de funcionar?, mueva o reajuste las tarjetas de circuito impreso y el instrumento empieza a trabajar de nuevo, mueva un cable, conector o interruptor y el indicador brinca. Muchas de estas intermitencias son el resultado de basura y/o corrosión entre las superficies metálicas móviles de contacto. Una buena limpieza podría solucionar muchos de sus problemas de intermitencias.

Obviamente, su instrumento y las tarjetas de circuito impreso relacionadas deben limpiarse del polvo, aceite, productos de corrosión y cualesquiera otros contaminantes que pudieran afectar la resistividad superficial o alterar en alguna otra forma su funcionamiento. Sin embargo, la limpieza de una tarjeta de circuito impreso contaminada debe ser una decisión de todo o nada. A continuación damos

el por qué. Los disolventes (incluyendo el alcohol) que se aplican a una tarjeta de circuito impreso van a disolver los contaminantes de las pistas y diseminarlos sobre la superficie de la tarjeta. Estos contaminantes, si no se eliminan completamente mediante una limpieza a fondo y el correspondiente enjuague, pueden ocasionar problemas serios a largo plazo, tales como corrosión y conexiones intermitentes. Una limpieza superficial hecha de momento puede mejorar el aspecto de una tarjeta, pero es casi seguro que la confiabilidad se vea afectada.

Remoción de la soldadura de Resina. A continuación se menciona por qué no se recomienda. Se recomienda que no se interfiera con la pasta a base de resina de la soldadura RMA-P2 y que se deje en la tarjeta después de hacer una sustitución de componente. Investigaciones recientes han revelado que la pasta para soldar de la soldadura RMA P2 no causa daño si se le deja en su lugar sobre una tarjeta de circuito impreso después de haber realizado un trabajo de soldadura manual: la resina es inerte y no conductiva. Sin embargo, si se le disuelve con una sustancia química, al intentar removerla de la tarjeta, es como verter aceite sobre el agua; la pasta de resina se disuelve y se disemina sobre toda la tarjeta, liberando los activadores (cloruros, bromuros, etcétera). Ahora, en lugar de tener un montículo de pasta de resina inerte con sus activadores atrapados, tiene una bomba de tiempo activándose. Los activadores son solubles en agua. Si el instrumento se almacena en un ambiente húmedo, todo lo que se requiere es algo de tiempo y la humedad para iniciar el proceso de corrosión. Es ésta la razón por la cual diversas

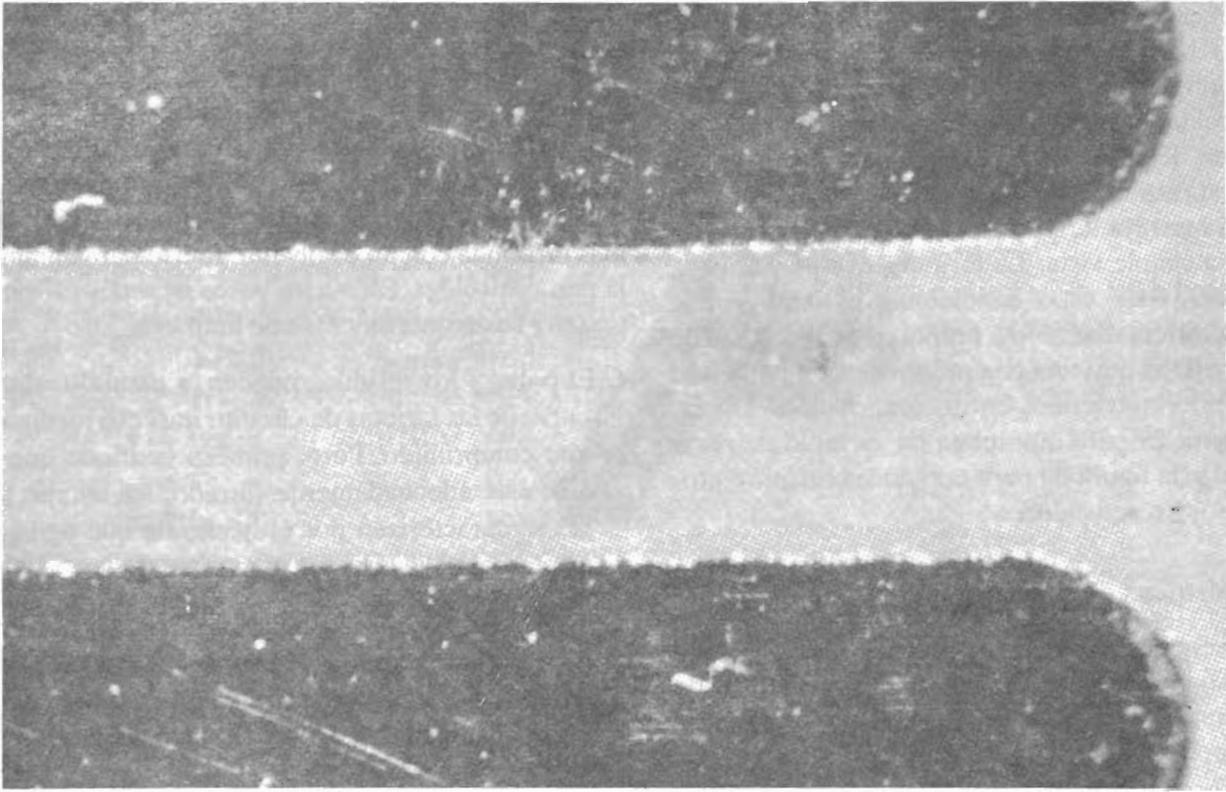


Figura VIII(A)-29. Ejemplo de pasta sobrante que se ha dejado en la tarjeta debido a una limpieza inapropiada.

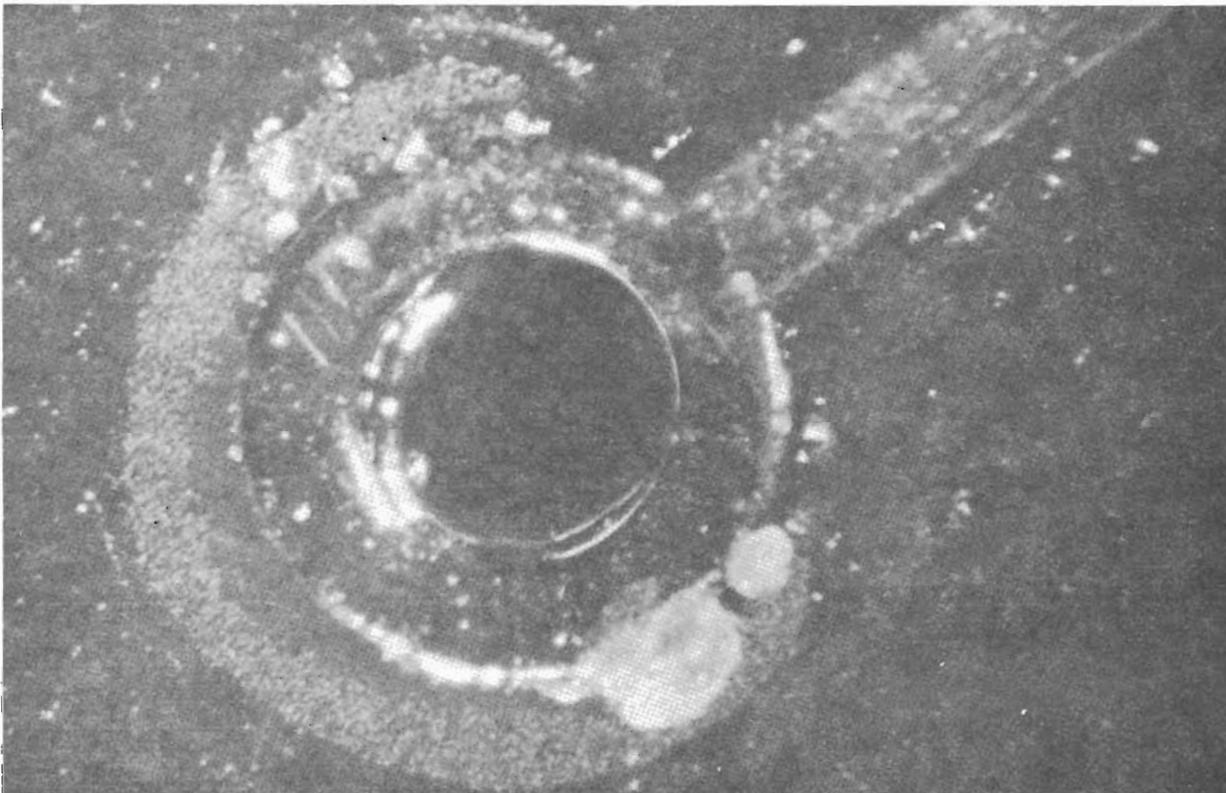


Figura VIII(A)-30. Ejemplo de la corrosión producida por los activadores en la pasta de soldar sobre una tarjeta que no fue limpiada correctamente.

6. El paso final es limpiar el conector del borde. Refiérase a ese inciso para las instrucciones específicas.

Cuándo sí debe removerse la pasta de resina para soldar

La remoción adecuada de pasta es un proceso de tres pasos: requiere de un lavado y dos enjuagues. Se recomiendan los siguientes disolventes porque son bipolares. Esto significa que contienen dos tipos de disolvente, uno para disolver la resinas y otro para disolver los activadores para la resina. Una vez que estén disueltos los dos y diseminados sobre toda la tarjeta, tendrá que remover la resina, los activadores y el disolvente bipolar.

1. Cuando aplique el disolvente sostenga en alto el conector del borde. Esto evita que la pasta disuelta fluya hacia los conectores y cause posibles intermitencias futuras o corrosión. Utilice "Reliasolve" No. 564 o MS-190HD para disolver la pasta de soldar. Utilice un cepillo de cerdas cortas y cepille vigorosamente el área.
2. A continuación enjuague generosamente el área reparada con una solución al 80:20 de alcohol isopropílico y agua desionizada, manteniendo en alto el conector del borde. Este enjuague debe inundar toda la tarjeta y siempre debe hacerse con una solución fresca de alcohol:agua. Debe enjuagar la tarjeta varias veces, sosteniéndola sobre un contenedor grande para recoger el exceso. Deje pasar por lo menos dos minutos antes del secado final con aire.

NOTA. A partir de este momento la tarjeta debe ser manejada solamente por sus bordes. Nunca toque las pistas con sus dedos - dejan huellas dactilares aceitosas, las cuales ocasionan corrosión (Fig. 31). No recomendamos el uso de guantes, a menos que sean nuevos o estén completamente limpios. En muchos casos los guantes (debido al uso constante) están en realidad más sucios y contaminados que sus dedos.

3. Enjuague generosamente la tarjeta varias veces con agua destilada o desionizada limpia y fresca. Ambas deben almacenarse en botellas de políplástico. De nuevo, sostenga la tarjeta por sus bordes sobre un contenedor para recoger el exceso de agua. Deje secar durante 5 minutos, y en algunos casos podrá ser necesario secar la tarjeta

en el horno para eliminar toda traza de humedad. Seque durante una hora a 70°C (158°F).

Limpieza del conector del borde de la tarjeta

Quizá una de las áreas más críticas de su instrumento sean los conectores del borde de la tarjeta con sus contactos macho y hembra, los cuales son los más susceptibles a la contaminación causando intermitencias. Observe las figuras 32 a 36 como ejemplos de por qué desea una limpieza profunda de los conectores en los bordes. Recuerde que éstas son fotografías amplificadas; normalmente no puede verse esta contaminación a simple vista.

Alcohol/agua y aceite de contacto

En caso de que la pasta de resina disuelta junto con sus activadores haya encontrado su camino hacia el conector del borde, la combinación de alcohol/agua es el primer paso en el proceso de limpieza. El alcohol puro (100%) no disolverá todos los componentes de la contaminación, puesto que los activadores de resina son solubles en agua. Nosotros hemos encontrado que una solución de 80:20 de alcohol/agua es la mezcla óptima. Veinte por ciento de agua es suficiente para disolver los activadores, pero no es suficiente para generar electricidad estática capaz de producir daño.

Los aceites de contacto para uso electrónico, tal como el Cramolin o el "No Noise" (no ruido) logran una limpieza de menor cuantía, disuelven el óxido o la decoloración, pero no atacan el metal incluyendo el recubrimiento de plata o de oro. Una película delgada de vapor es todo lo que se requiere para sellar los poros en la superficie del oro y disminuir la resistencia de contacto. Es deseable lubricar en caso de que los conectores hembras contengan algunos contactos apretados que pueden desgastar el oro, perdiendo así las ventajas originales del recubrimiento de oro. Siempre elimine el exceso de aceite de contacto, dejando tan sólo una película muy delgada. La menor cantidad realiza la mejor función.

PRECAUCION

No use ningún aceite que contenga silicones.

1. Inicie su trabajo con lienzos cuadrados grandes de tela, libre de pelusa, y córtelos en cuadrados más pequeños de 10 x 10 cm.



Figura VIII(A)-31. Ejemplo del proceso de corrosión iniciado por una huella dactilar (en amplificación considerable).

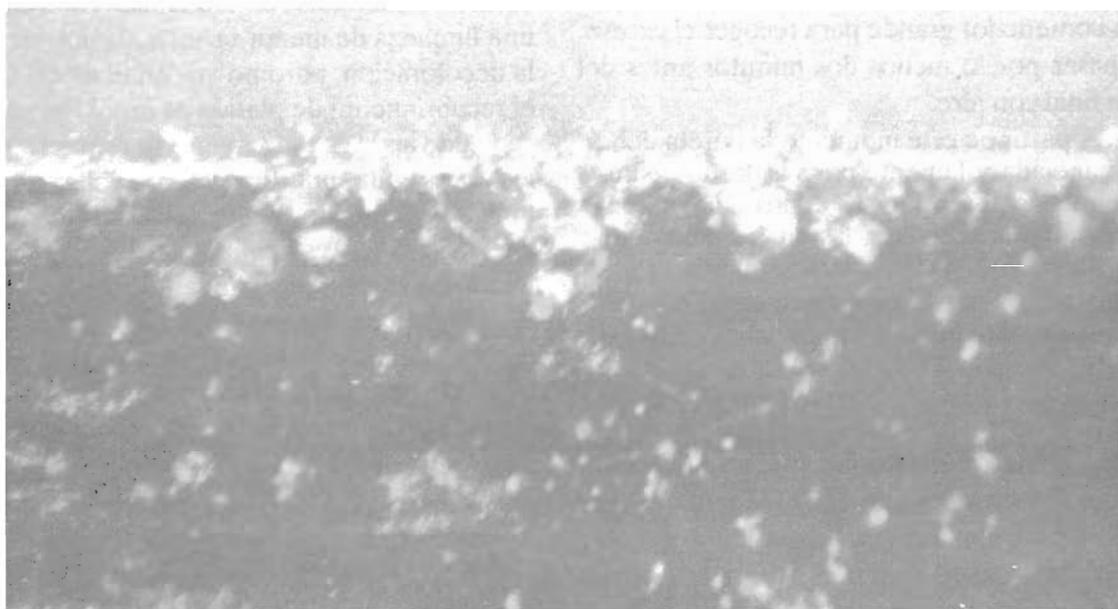


Figura VIII(A)-32. Ejemplo de corrosión (de los activadores en la pasta de soldar) en la cercanía de un conector de borde.



Figura VIII(A)-33. Ejemplo de un conector de borde sucio. Note las fibras machacadas y la peluza de un hisopo de algodón y de la tela tipo papel.

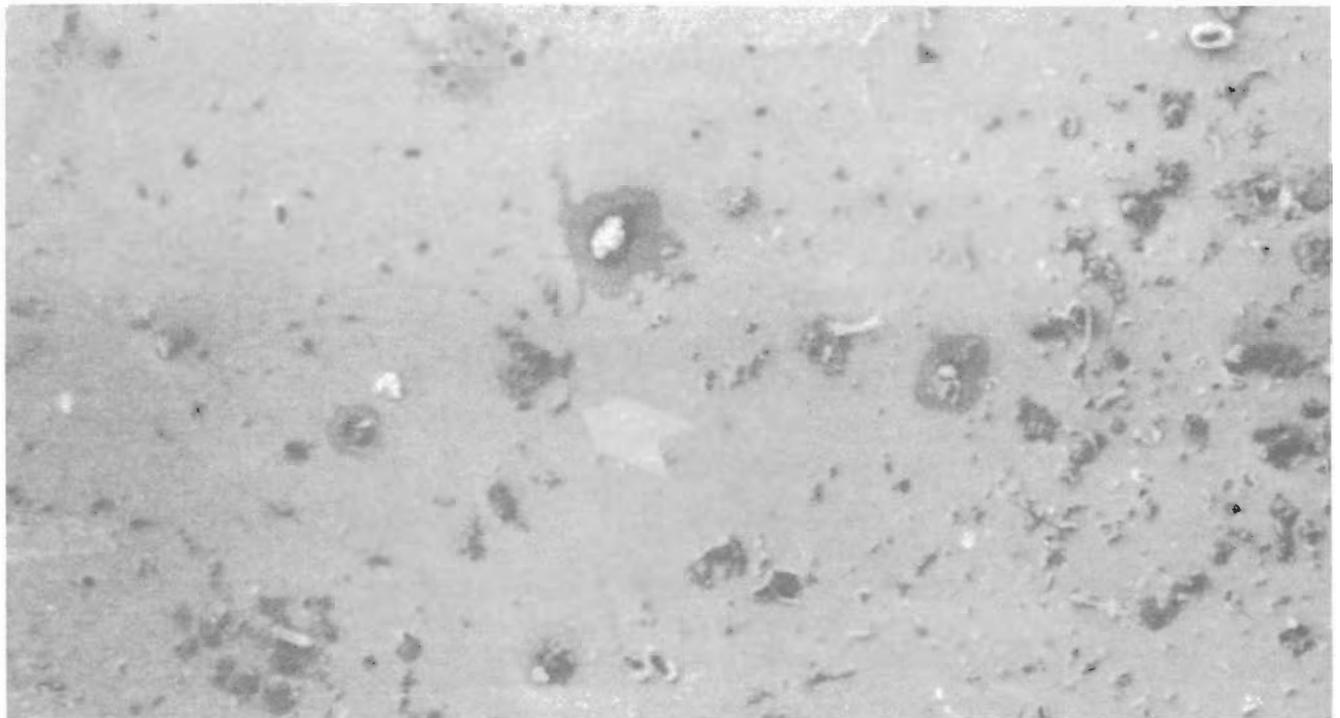


Figura VIII(A)-34. Ejemplo de la corrosión en un poro (amplificación 50x) en el conector del borde. La flecha indica una erupción.



Figura VIII(A)-35. Mismo ejemplo de corrosión en un poro, como el que se presenta en la figura 34 (amplificación 160x). La flecha indica la misma erupción que se presenta en la figura 34.

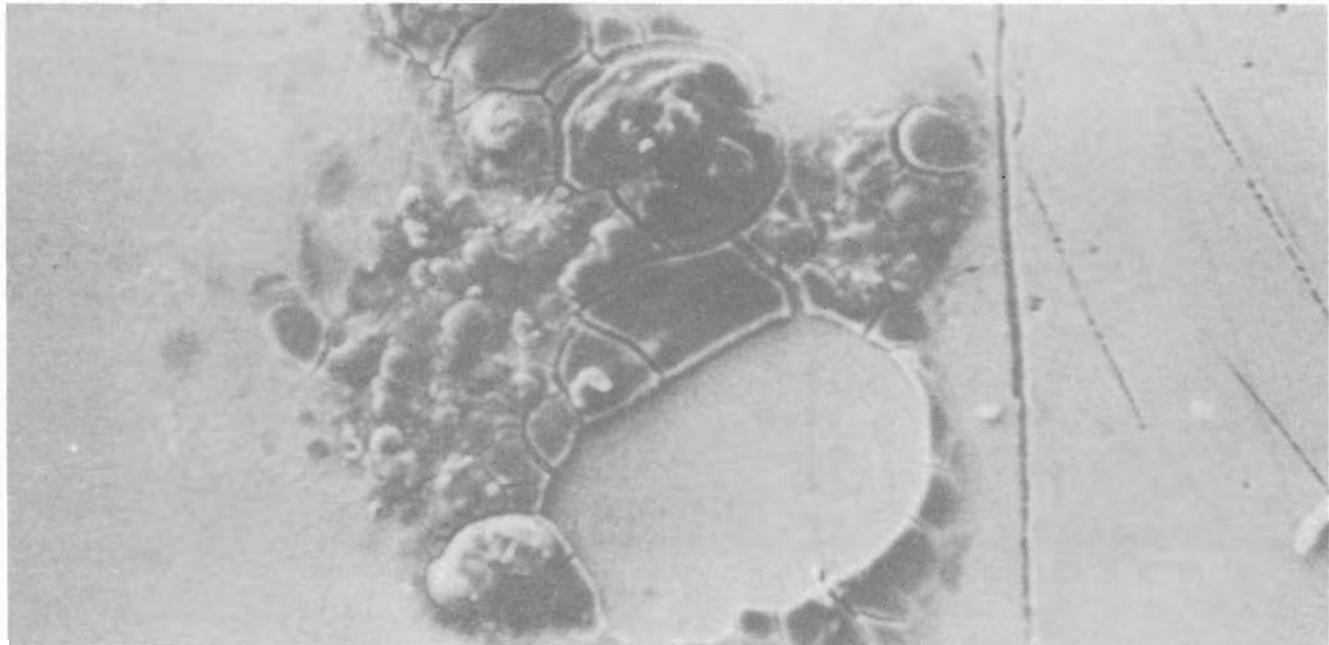


Figura VIII(A)-36. Esta es la erupción con una amplificación de 350 veces. Este brote de corrosión va a desprender el conector del borde de la "isla". Muéva la tarjeta, rompa el brote de corrosión y se reestablecerá la conexión temporalmente. El procedimiento de limpieza para el borde el conector descrito en este apéndice eliminará la corrosión y evitará su recurrencia por un tiempo largo.

2. Sature uno de los pequeños pedazos de tela con la mezcla de 80:20 de alcohol isopropílico y agua, y déle brillo al conector del borde. Frote hacia adelante y atrás, en paralelo con los contactos, de tal manera que no se empuje ninguna contaminación hacia el borde del contacto. La tela libre de peluza proporciona la acción mecánica requerida para pulir los contactos y liberar el área entre los contactos de la mayor parte de los contaminantes. Deseche la tela.
3. Moje (poquito) otro pedazo de tela o de hisopo con punta de hule espuma con aceite de contacto y frote los contactos. Debido al problema de la peluza no use hisopo de algodón. Deje actuar al aceite durante unos minutos para disolver cualquier partícula de corrosión difícil de disolver.
4. Mientras espera a que el aceite de contacto disuelva cualquier corrosión en los contactos de la tarjeta, puede limpiar los conectores hembras. Aplique una pequeña cantidad de MS-180 a un hisopo de punta de hule espuma. Inserte el hisopo en el conector hembra, introduciéndolo y sacándolo para limpiar los contactos. Otra técnica es la de enrollar la tela libre de peluza sobre el borde de una tarjeta de prueba, remojar la tela con limpiador e insertarla en el conector varias veces. Cuide la alineación de las terminales en los conectores.
5. Regresemos a la tarjeta de circuito impreso. Limpie el aceite de contacto con otro lienzo limpio. Habrá momentos en los cuales la tela libre de peluza mostrará residuos oscuros que ha recogido de los contactos. Este es el óxido que está siendo eliminado. Si parece que hubiera más película de óxido en los contactos, aplique nuevamente el aceite de contacto y déjelo actuar unos minutos. Vuelva a limpiar y vea si todavía se desprenden residuos.
6. Use un hisopo con punta de hule espuma y aplique ligeramente una delgada capa de aceite de contacto en las superficies de contacto. Inserte la tarjeta en el conector hembra varias veces -el aceite de contacto va a emigrar hacia los contactos hembras. Retire la tarjeta y limpie cualquier exceso de aceite, dejando tan sólo una cubierta muy delgada. Recuerde, mientras más delgada sea la capa de aceite mejor funcionará.
7. No use una goma de borrar -ningún tipo de goma de borrar- para limpiar los contactos. Un borrador es altamente abrasivo y va a remover el laminado del metal precioso (plata u oro). Además, la goma (pegamento) en el borrador dejará una película residual que es muy difícil de eliminar y puede causar intermitencias en el futuro. El movimiento de frotación del borrador sobre los contactos es un generador potencial de estática.

CAPITULO IX

REFERENCIAS Y MICROPROCESADORES

Este capítulo cubre el uso de material de referencia (bibliografía) y el de instrumentos basados en microprocesadores. Una buena biblioteca de referencia o acceso al material de referencia puede ser una gran ayuda en la localización de fallas y su reparación.

Los instrumentos basados en microprocesadores se están volviendo cada día más comunes y es importante saber algo sobre ellos.

Material de referencia

1. Los libros y material de referencia (diferentes a los manuales) pueden:

- Proporcionar información útil o más detallada, la cual puede no estar contenida en los manuales de servicio, reparación y operación proporcionados por el fabricante.
- Proporcionar información para ayudar en la localización de fallas y su reparación cuando no existan manuales o diagramas.
- Proporcionar la información necesaria para la selección de los componentes de remplazo o de sustitución.

2. Tipos de libros útiles de referencia:

- Libros sobre los principios fundamentales de electrónica, mecánica, física, óptica, química, sistemas de control, etcétera.
- Libros que contengan los principios generales sobre los diversos tipos de instrumentos, tales como instrumentación química, médica, aparatos de rayos X, instrumentos de laboratorio, computadoras, etcétera.
- Libros que cubran análisis de circuitos y los tipos generales de circuitos, tales como fuentes de poder, amplificadores, contadores, transductores, servo-sistemas (feed-back), circuitos analógicos y digitales, etcétera.
- Libros sobre "Cómo hacer", los cuales cubren la metodología. Cómo detectar problemas, cómo reparar tabletas, cómo soldar, cómo usar herramientas y equipo eléctrico, cómo seleccionar componentes, etcétera.
- Libros con datos sobre los diversos componentes, folletos, hojas de datos, etcétera, que generalmente son publicados por los fabricantes

de componentes. Material informativo sobre capacitores, resistores, interruptores, transistores, integradores lineales, circuitos integrados digitales, CMOS, circuitos integrados de memoria, etcétera.

- Libros de referencia de componentes, tales como la serie DATA, que proporciona información sobre los aparatos e instrumentos de los diferentes fabricantes.

- Catálogos de las diferentes compañías distribuidoras. Estos, a menudo, contienen información útil sobre los componentes, sub-montajes, herramientas, etcétera.

- Manuales o instructivos de los fabricantes de equipo. En ocasiones es posible utilizar el manual proporcionado por un fabricante para su instrumento específico y obtener así información sobre el funcionamiento de un instrumento similar de otro fabricante. Por ejemplo:

a. La descripción general de la cromatografía de gases proporcionada por la compañía Fisher puede utilizarse en, prácticamente, todos los cromatógrafos de gas, ya sean fabricados por Fisher o por otra compañía.

b. Las fuentes de poder para las lámparas de alta presión son muy similares en diseño, no importa quien sea el fabricante y ya sean de mercurio o de xenón.

c. Muchas veces las unidades subfuncionales de un instrumento son fabricadas por una misma compañía que surte a los diversos fabricantes de equipo o instrumentos.

RECUERDE. Los instrumentos y los componentes tienen más semejanzas que diferencias. El conocimiento obtenido al estudiar un instrumento o componente puede aplicarse a varios instrumentos y aparatos.

Consulte el apéndice A, como un ejemplo de lo mencionado anteriormente.

Microprocesadores

Muchos instrumentos modernos incluyen un microprocesador y los circuitos correspondientes. Es importante que el localizador de fallas o de problemas tenga un conocimiento de cómo localizar y co-

regir las fallas que se presenten en estos dispositivos.

Puesto que la mayoría de las personas que trabajan en mantenimiento tienen sólo una ligera noción sobre microprocesadores, se describirán aquí sólo los primeros pasos generales para la localización de fallas en estos instrumentos. Idealmente, el localizador de fallas deberá tener:

1. Un conocimiento sobre su aplicación. ¿Qué función o funciones realiza el microprocesador? ¿Por qué se emplea en el instrumento?
2. Un conocimiento sobre circuitos digitales y las técnicas digitales, así como sobre los convertidores de sistemas analógicos a digitales, sistemas de relojes multifásicos, características de la memoria (RAM, ROM, EPROM, etcétera, estática y dinámica), sistemas de bus, métodos de comunicación en serie y en paralelo, lógica de tres estados, etcétera.
3. Un conocimiento básico sobre programación, lenguaje de máquina y de montaje, lenguajes de nivel superior como BASIC, FORTRAN y PASCAL, principios de algoritmia, control digital, etcétera.
4. Un conocimiento sobre la arquitectura de las computadoras. ¿Cómo está organizado el microprocesador? ¿Cuáles son los registros proporcionados y si son internos o externos? ¿Está orientado en pila el microprocesador en particular? ¿Utiliza técnicas de "pipeline"? ¿Qué tan amplio es el "bus" para datos, para direcciones? ¿Se usan los mismos "pins" para la entrada y la salida?
5. Conocimientos sobre el equipo adecuado de prueba. ¿Existen herramientas y equipos especiales que ayuden a simplificar el proceso de localización de fallas? No utilice estos sistemas a menos que conozca cómo funcionan y cómo emplearlos.
6. Conocimientos sobre cómo utilizar y leer las hojas de datos y los programas proporcionados por el fabricante.

Tendencias futuras en el uso de equipo basado en microprocesadores

Los microprocesadores se están volviendo cada vez más especializados. En la actualidad, existe una gran cantidad de diversos tipos de microprocesadores y muchos más están siendo desarrollados.

Debido al gran número de variedades de microprocesadores utilizados por los fabricantes, la vida en el mercado de la mayoría de ellos es muy corta. Es importante adquirir microprocesadores de repuesto así como otros circuitos especializados (tales como ROM, etcétera) en el momento de adquirir el instrumento original, ya que estas partes pueden desaparecer del mercado o ser fabricadas con especificaciones diferentes. Por ejemplo, un instrumento puede utilizar un microprocesador cuya frecuencia de reloj sea de 1.0 MHz. Más tarde, el fabricante del semiconductor puede ser que produzca sólo unidades que operan con una frecuencia de reloj de 8.0 MHz. Esta nueva unidad más rápida pudiera no servir como pieza de repuesto para el instrumento original más lento.

En el futuro habrá un mayor énfasis en el uso de lenguajes de nivel superior en las aplicaciones de programación ("software"). Lenguajes tales como el FORTH, PASCAL, C, ADA, NUEVO FORTRAN, etcétera, serán comunes en numerosos instrumentos.

Habrá un incremento en el énfasis del uso de sistemas de comunicación de datos y de instrumentación. Esto incluirá sistemas tanto de corta y larga distancia.

Existirá una mejoría en los programas de mantenimiento y de diagnóstico integrados. Estos serán de utilidad tanto para el usuario como para el localizador de fallas. Los programas de diagnóstico integrados son útiles sólo cuando el microprocesador está funcionando bien. Hay numerosas fallas que pueden impedir la utilidad de los programas de diagnóstico. Tales fallas son:

1. Falta de fuente de poder o fuente de poder defectuosa.
2. Fallas en el sistema de reloj.
3. Fallas en ROM.
4. Fallas en el circuito integrado periférico o en la función.

Localización de fallas y estrategia de reparación

La estrategia óptima para la localización de fallas y reparación de instrumentos basados en microprocesadores depende de varios factores, tales como:

1. Qué tanto se sabe sobre el instrumento, su microprocesador y el programa ("software") asociado.

2. Manuales y documentación (referencias) existentes.
3. Equipo de prueba existente.
4. Disponibilidad de piezas de repuesto.
5. Información accesible del agente vendedor local o del fabricante.

Existen ciertas reglas o métodos de detección y reparación que siempre son correctos.

1. Revise y corrija cualquier problema por menor que parezca en la fuente de poder.
2. Los programas de diagnóstico integrados en el equipo deben ser comprobados y ejercitados para detectar cualquier problema.
3. La sustitución de unidades o sub-ensamblados es una técnica buena y rápida, pero requiere de piezas de repuesto y que éstas se **conozcan bien**.
4. Si nada trabaja, revise:
 - a. Las fuentes de poder.
 - b. Los sistemas de reloj.
 - c. La memoria del programa (ROM).
 - d. Vea si los "bits" de dirección cambian de 0 a 1.
5. Recuerde, siempre probar las señales en las "patitas" terminales del circuito integrado y no en la tarjeta del circuito o en los conectores, cuando esté revisando un circuito integrado.

Siguiendo estas simples recomendaciones, la mayoría de los problemas que surgen en equipos basados en microprocesadores pueden ser resueltos. Los que no se pueden resolver mediante el proceso antes descrito, generalmente requieren de pruebas y de análisis exhaustivos, así como material de referencia especializado.

RESUMEN

Los temas esenciales para capacitarse en el ejercicio de un adecuado mantenimiento han sido cubiertos en este Manual Técnico. A continuación se proporciona una revisión o repaso de los mismos. No existen secretos escondidos u oscuros para la localización efectiva de problemas. La localización de fallas es el proceso de aplicar lo que ya conoce en una forma lógica y sistemática para adquirir la información adicional necesaria que le permita encontrar y corregir fallas en instrumentos y aparatos. Se puede mencionar que el procedimiento del ABCDE es una forma práctica de aplicar el método científico en las actividades técnicas dirigidas a generar y aplicar conocimientos.

1. El dispositivo más importante en la localización de fallas es Usted. -Su cerebro y sus sentidos de la vista, oído, olfato y tacto y su capacidad de aplicar el ABCDE en la identificación y solución de problemas.
2. Lo más importante que hay que recordar en la localización de fallas es ser lógico y sistemático. Deténgase, analice, piense, describa, compare y planee su enfoque al problema y evalúe el resultado.
3. La causa más común de falla electrónica es el calor y las temperaturas elevadas.
4. La causa más común del sobrecalentamiento es la inadecuada difusión del calor, mala conexión a tierra, el polvo, o cualquier otro material que cubra los componentes, circuitos o instrumentos, lo cual afecta las características de transferencia de calor y flujo de aire.
5. El mantener los instrumentos limpios es la mejor forma de reducir la frecuencia de las fallas.
6. Muchas de las fallas no son electrónicas. La falla puede ser debida a:
 - a. Falla mecánica.
 - b. Cables, conexiones o partes rotas.
 - c. Tornillos, tuercas, abrazaderas, faltantes o sueltos, etcétera.
 - d. Partes o piezas desgastadas o mal alineadas.
7. **RECUERDE: ANALICE, BUSQUE, COMPARE, DESCRIBA, EVALUE y PIENSE** cómo volver a empezar. Haga las cosas fáciles primero:
 - a. Trabaje del exterior del instrumento hacia el interior del mismo. Aprenda todo lo que pueda desde el exterior. Una inspección visual cuidadosa, manteniendo en mente la descripción de la falla, es una buena guía. **VEA, PIENSE "PROPONGA" Y OPERE.** Busque primero las causas potenciales simples y obvias del problema.
 - b. Mantenga en mente el diagrama de bloque funcional para que le guíe en la búsqueda del problema. Sus ojos con su cerebro funcionando son la mejor combinación para la localización de fallas.
 - c. No se refiera a esquemas o haga mediciones hasta que no haya utilizado sus sentidos hasta lo máximo; luego compare lo que tenía en su cerebro y los diagramas, analice similitudes y diferencias, proponga explicaciones.

- d. Cuando se requieran mediciones u otras pruebas, haga las más simples o las más rápidas primero.
 - e. No tome ninguna medición si no sabe cuál debe ser el resultado de su medición y cómo debe hacerse. Recuerde ejecutarlo con la seguridad de no hacer cortocircuito o pasarse corriente eléctrica de consecuencias leves, graves o fatales. Recuerde ser técnico de un solo brazo.
 - f. Cuando esté buscando fallas o un componente defectuoso, busque primero aquellos que sean los más probables. Mantenga en mente la frecuencia de las fallas y las formas de las mismas en componentes, módulos e instrumentos.
 - g. Asegúrese de que todas las conexiones estén limpias y que hacen buen contacto eléctrico.
 - h. En los instrumentos que tienen electrodos o transductores externos, las fallas más probables y las partes que deben revisarse primero (después de una cuidadosa inspección visual) son los electrodos, los transductores y los cables.
8. No olvide completar todo el trabajo de papeleo (llenar las formas adecuadas y llevar los registros correspondientes). Es importante tener su "cuaderno personal" de notas, diagramas que le permitan ir aumentando su eficiencia.
9. Una vez completada la reparación, repase todo el proceso de localización y reparación, considerando cada uno de los pasos ejecutados. Pregúntese usted mismo, si el proceso realizado fue el más eficiente o el mejor, bajo las circunstancias específicas. ¿Atacaría el problema en la misma forma si tuviera otro instrumento con síntomas similares? ¿Qué aprendió de todo el proceso? Aunque le parezca pérdida de tiempo, puesto que "ya solucionó el problema", es muy importante que escriba cuando menos un resumen completo, que seguramente le ayudará al enfrentarse a otro problema igual o similar (utilizar la capacidad humana de aprender por razonamiento). Además en el medio latinoamericano es urgente hacer capacitación "en cascada" que aumente rá-

pidamente el personal técnico con los conocimientos suficientes y adecuados.

BIBLIOGRAFIA

1. Lenk, John D. Handbook of Practical Solid State Troubleshooting. Prentice Hall, 1971.
2. Loveday, George and Sandige, Richard S. Electronic Testing and Troubleshooting, Wiley, 1982.

OTRAS REFERENCIAS UTILES

1. Buschbaum, Walter H. Tested Electronics Troubleshooting Methods. Prentice Hall, 1974.
2. Ferris, Clifford D. Introduction to Bioinstrumentation. Humana Press, 1978.
3. Genn, Robert C. Practical Handbook of Solid State Troubleshooting, Parker, 1981.
4. Grolle, Carl G. Electronic Technician's Handbook of Time-Savers and Shortcuts. Parker, 1974.
5. Horowitz, Paul and Hill, Winfield. The Art of Electronics. Cambridge University Press, 1980.
6. Horowitz, Paul and Robinson, Ian. Laboratory Manual for the Art of Electronics. Cambridge University Press, 1981.
7. Loveday, George and Scidman, Arthur H. Troubleshooting Solid State Circuits, Wiley, 1981.
8. Strobel, Howard A. Chemical Instrumentation, 2a. Ed. Addison-Wesley, 1973.
9. Thomas, Harry E. Handbook of Biomedical Instrumentation and Measurements. Reston, 1974.
10. Wolf, Stanley. Guide to Electronic Measurements and Laboratory Practice. 2a. Ed. Prentice Hall, 1973.
11. Brust Carmona, H. e Ibarra Obando, M.T. Aprendiendo a Aprender. México, D.F., Bruma SC, 1982. 92 pp.
12. Geddes, L.A. and Baker. L.E. Principles of Applied Biomedical Instrumentation, 2nd Ed. Nueva York, John Wiley, 1987, 616 pp.

APENDICE A

CAPITULO IX

ILUSTRACION DE LA TECNICA DE LOCALIZACION DE FALLAS, UTILIZANDO UN MEDIDOR DE pH

Usted recibe un medidor de pH para repararlo. El instrumento viene acompañado de una etiqueta que sólo dice "inestable". El aparato fue fabricado por una compañía extranjera y no existen ni manual ni diagramas. ¿Qué deberá hacer?

Puesto que el medidor de pH no es un instrumento familiar, lo primero que deberá hacer es leer información general sobre este tipo de aparatos, buscar información específica de la técnica de medición, pensar cómo debería funcionar el aparato para hacer lo que se supone que debe hacer, pensar qué controles debe tener y enseguida verificar los síntomas descritos. Desde luego, que todos podemos hacer un diagrama general de un medidor de pH (en caso necesario, obténgalo de libros de texto de escuelas de ingeniería). Este diagrama general debe mantenerse en mente y modificarse a medida que conoce más sobre el instrumento.

Analice cuidadosamente el instrumento. ¿Qué ve?, ¿qué partes tiene?, ¿qué botones tiene?, ¿cómo funcionan dichos botones?

¿Qué tipo de fuente de poder se requiere para operar el instrumento?

¿Qué tipo de lectura proporciona el aparato?

¿Qué entradas y salidas tiene el instrumento?

¿Tiene los cables para conectarlo?

¿Qué controles tiene?

¿En qué condiciones se encuentra el instrumento?

¿Existen cables rotos, aislantes deteriorados, etcétera?

¿Hay tuercas, tornillos, paneles, piezas, sueltas o faltantes?

Usted recibió un medidor electrónico de pH, el cual tiene una clavija para conectarse a enchufes de 220 voltios, CA. para el suministro eléctrico. Tiene una pantalla para lectura digital en el frente del panel. Tiene un enchufe de entrada estándar para medición de pH, una entrada para medir milivoltios y una salida para control de temperatura en la parte posterior. En el panel frontal se encuentran los controles para encendido, de selección para hacer mediciones de pH o de milivoltios, para seleccionar el

rango de medición y otro para extender la función escalar. Existe también un control para el cero. El margen disponible de medición de pH es de 0 a 7 y de 7 a 14; y la escala de expansión da una lectura de pH 6 a pH 8. El indicador de salida (pantalla digital) consta de un desplegado de cristal líquido de 4 dígitos. El instrumento aparentemente está en condiciones relativamente buenas, excepto por un depósito blanquecino en los conectores de entrada y el botón de control de temperatura está flojo. El cable de conexión a la fuente de energía presenta roturas, fracturas en el aislante en la cercanía de su conexión en la parte posterior del instrumento y cerca de la clavija de conexión. El instrumento carecía de electrodo.

Análisis de los síntomas

El síntoma descrito consta de una sola palabra "inestable". Esta no es una buena descripción de la falla pero es todo lo que tenemos. Aun esta pobre descripción de los síntomas nos proporciona cierta información. Sin embargo, debemos recordar ser cuidadosos, puesto que el síntoma no ha sido verificado, la inestabilidad puede ser mecánica. La inspección visual cuidadosa no reveló ninguna inestabilidad mecánica, de tal manera que podemos presuponer que quien describió el síntoma se refería a una inestabilidad eléctrica.

Si el síntoma especificado es de creerse, el medidor de pH se encenderá, de tal manera que el problema no radica en un cable de conexión roto, en un fusible fundido, o en un interruptor de encendido apagado defectuoso.

Verifique el síntoma. Basado en el síntoma, se puede conectar y encender el aparato y ver qué pasa. ¿Habrán evidencias de "inestabilidad"?

Al conectarse y encenderse el medidor de pH, la lectura de la pantalla varía continuamente. El cambio del rango del pH o cambios en la escala de milivoltios no tiene efecto alguno. Después de apretar el botón de control de temperatura y girarlo, tam-

co se produce un efecto visible sobre la conducta de lo representado en la pantalla.

Es tiempo de comparar (pensar) lo que sabe que debería ocurrir con lo que pasa en el aparato y proponer posibles explicaciones que le lleven a indicar determinadas pruebas. Puesto que no hay manuales ni diagramas, la única información que tiene para seguir adelante es su conocimiento general sobre los medidores de pH y lo que ha podido detectar hasta ahora, mediante la inspección visual, al conectar, encender y girar los botones de control.

NO OLVIDE el diagrama de bloque, que tiene en su mente y su cuaderno de apuntes. Usted sabe que un medidor de pH debe tener una entrada para la señal, un amplificador, una pantalla para lectura digital y una fuente de poder. Además, que tiene una salida para registro en la parte posterior del instrumento. El tipo más probable de señal que debe presentarse en esa conexión debe estar en función de la salida del amplificador.

Ha verificado el síntoma "inestabilidad". El síntoma siempre se presenta cuando se conecta el aparato y se enciende y no ha detectado ningún otro síntoma.

Hasta ahora, usted sabe que la lectura de la pantalla de cristal líquido (LCD) es inestable, pero no sabe si la inestabilidad se encuentra en la lectura misma, la entrada a la lectura, en el amplificador o en la fuente de poder. Es posible que la fluctuación en la lectura se deba al hecho de que la entrada está abierta. Muchos amplificadores tienen la tendencia a hacerse inestables (oscilar) cuando sus entradas están abiertas.

A continuación, determine cuidadosamente las características exactas de la inestabilidad de la lectura:

- a) ¿Se encuentran afectados sólo algunos dígitos? ¿La inestabilidad es una fluctuación regular o al azar? ¿Está produciendo la inestabilidad parpadeos (apagados-encendidos) de una parte o de todo el indicador, o varían en valor alguno o todos los dígitos? ¿Se encuentran afectados sólo ciertos dígitos o segmentos?
- b) Deberá ser muy específico al describir la naturaleza del problema. Muchas veces al intentar describir exactamente lo que está ocurriendo puede llevarlo a la solución. Se insiste, es muy conveniente que escriba lo que está pensando (la pérdida de tiempo la recupera en el siguiente instrumento).

El siguiente paso es determinar la prueba más fácil que deberá realizar para circunscribir las posibles causas de la inestabilidad.

Existen muchas formas de proceder ("hay muchas formas de matar una pulga"). Es probable que lo mejor sería limpiar el depósito blanquecino de las terminales de entrada y cortocircuitar la entrada para ver si produce alguna diferencia. El área de entrada de la conexión debe ser limpiada de todos modos, así que esto no representa un desperdicio de trabajo. Esta limpieza podría hacerse en todos los contactos y controles.

La prueba que tiene las mejores probabilidades de eliminar la mayor proporción de causas de la falla es revisar la señal analógica, la cual debe poderse obtener en la salida del amplificador o en la entrada del registro.

Supongamos que la limpieza y el corto circuito de la entrada no cambiaron los síntomas.

Supongamos que la salida al registro se comportó en la forma esperada -era estable y varió al girar el control de cero. Si la salida al registro está en orden, entonces podrá eliminar al amplificador como posible causa de la inestabilidad. Excepto por la posibilidad de que la lectura requiera una fuente de poder especial, la fuente de poder más común debe entregar los voltajes correspondientes, se puede comprobar que así sea. Por consiguiente, la causa más probable de la inestabilidad se encuentra en la sección de lectura del instrumento o en las conexiones a este "bloque".

El siguiente paso lógico sería desmontar la cubierta y realizar una muy cuidadosa inspección del interior del instrumento y prestar especial atención a los cables y conexiones que van a la sección de lectura, así como el área misma de lectura. Después de una inspección inicial, el interior del instrumento debe ser limpiado, eliminando cualquier polvo, suciedad, corrosión, etcétera, y luego ser examinado cuidadosamente de nuevo.

La inspección debe incluir mover todos los alambres y conexiones que vayan a la sección de lectura. Cuidadosamente examine todos los componentes, buscando signos de fallas. Conecte el aparato y repita el movimiento de los alambres, conexiones y componentes, mientras observe el indicador, buscando cualquier cambio en su conducta. Tenga mucho cuidado de no producir un cortocircuito o causar cualquier otro daño. Una pequeña varilla de plástico o de madera es la mejor herramienta.

Recuerde que un LCD es un indicador de cristal líquido. ¿Qué implica esto? ¿Cuáles son las características de funcionamiento de un indicador de cristal líquido? ¿Cuáles son los voltajes y señales característicos?

- a. Un punto importante que hay que recordar es que los indicadores de cristal líquido usan muy poca corriente para su funcionamiento. Además requieren de una señal excitadora de CA. El hecho de que requiera poca corriente implica una impedancia elevada. Una pequeña cantidad de polvo o basura entre las "patitas" de un indicador de cristal líquido puede ocasionar una vía de fuga y síntomas poco comunes, que indicarían una unidad de despliegue defectuosa, cuando en realidad el único problema es algo de suciedad que requiere eliminación.
- b. Cuidadosamente inspeccione el circuito del indicador. ¿Reconoce cualquiera de los componentes? Preste especial atención a los circuitos integrados. ¿Pueden verse números de catálogo o cualquier otra identificación?
- c. Busque los números de catálogo de los circuitos integrados en un libro de datos. Esto le proporcionará detalles resaltantes y le dará información sobre los requerimientos típicos de voltaje. Si usted busca un circuito integrado, que se emplea como decodificador o como un excitador de despliegue, los datos del fabricante del semiconductor incluyen, a menudo, un diagrama que ilustra una aplicación típica. Este puede inclusive ser un diagrama del despliegue que usted está tratando de arreglar. Por lo menos le dará más información.

La mayoría de las veces, el procedimiento que acaba de realizar debe llevarlo a determinar la falla real, o proporcionarle una indicación de dónde medir los voltajes o dónde realizar otras pruebas que puedan identificar la falla.

Una vez encontrada la falla y su causa, deberá volver a colocar el cable de conexión y recalibrar el instrumento. La recalibración es necesaria, puesto que el botón de control de temperatura estaba flojo cuando se recibió el instrumento para su reparación. El control de temperatura, generalmente, funciona como un control de ganancia para el amplificador.

Después de la reparación, deberá hacer un reporte escrito que contenga una breve descripción de los síntomas, las pruebas que realizó y sus soluciones. La información deberá proporcionarse de tal manera que si este mismo instrumento regresa para una reparación posterior, puedan consultarse todos los datos de las reparaciones anteriores. Además, es necesario en el área latinoamericana hacer una tarjeta con las indicaciones de operación mínimas indispensables, sobre todo si hay posibilidad de que la falla la haya provocado un mal manejo del aparato.

El proceso de encontrar y resolver las fallas deberá ser repasado cuidadosamente para analizar el procedimiento empleado y lo que se aprendió para ver si existe alguna forma mejor de atacar los problemas. Esta mejor forma puede ser utilizada la siguiente vez. Este es uno de los pasos más importantes para mejorar sus conocimientos, habilidades y actitudes.

Para terminar, insistimos, tome interés en hacer sus "propios diagramas", sus propios escritos, con sus errores de redacción o de ortografía, que no son lo importante, lo fundamental es que se reparen eficientemente los equipos para la atención de la salud.

SEGURIDAD EN EL AMBIENTE DE TRABAJO EN EL AREA DE ATENCION A LA SALUD

INTRODUCCION

Este módulo especial, referente a la Seguridad en el Ambiente de Trabajo en el Area de Atención a la Salud, ha sido agregado a este Manual por las razones implícitas en el Capítulo I de esta sección.

El manejo de equipo eléctrico, mecánico, de sustancias o de fuentes de radiación ya de por sí implican un alto riesgo si no se pone especial esmero en su uso; este riesgo debe minimizarse aún más en las instituciones de atención a la salud, cuyo objetivo principal es velar por el bienestar de los seres humanos que acuden a ellas.

Todos hemos oído demasiado sobre accidentes y la necesidad de prevenirlos. Sin embargo, no hacemos caso. Nos "cerramos" en cuanto alguien empieza a describir qué revisar, qué prevenir, pensamos que ya **lo sabemos todo** y sólo consideramos su necesidad. Pero, esto no basta, es necesario que

aprendamos a prevenir los accidentes y, una vez que hayamos aprendido a hacerlo, debemos prepararnos para transmitir estos conocimientos a otras personas. Este texto programado se ocupa del aspecto de seguridad en el área de atención a la salud y trata aspectos de seguridad que, creemos, nunca ha tomado en cuenta. Aunque el material que cubriremos trata principalmente sobre la necesidad de proporcionar un ambiente de seguridad al paciente, también garantiza su propia seguridad, así como la de los otros miembros de la comunidad dedicada a proporcionar salud.

Al final de cada capítulo encontrará preguntas que deberá contestar y revisar volviendo a leer el contenido del manual para que pueda completar este texto programado.

CAPITULO I

SEGURIDAD O RIESGOS

En los años anteriores, los programas de seguridad diseñados para las instalaciones médicas se ocupaban de la prevención de incendios, del transporte de los pacientes, del control de infecciones (aunque esto último se creyó resuelto con el uso de los antibióticos, en los últimos años se ha recrudecido el problema) y de las condiciones ambientales en los quirófanos. Esto ha cambiado mucho en los años recientes y con toda razón. El hospital moderno se ha convertido en un mundo milagroso de dispositivos electrónicos, de diagnóstico, de terapéutica y de rehabilitación. A medida que avanza la aplicación de la tecnología en la atención a la salud debe también aumentar nuestro conocimiento sobre sus peligros potenciales (RIESGOS). Con cada instrumento nuevo que se introduce al campo de la atención médica aumenta también el riesgo, tanto para el paciente como para el personal.

El riesgo, aun de bajo nivel, se acentúa en una instalación médica por la creencia del paciente y de sus familiares de que se encuentra en un ambiente diseñado para proteger su vida. Esta actitud hará que el paciente disminuya su capacidad preventiva, realizando acciones inseguras y aumentando su propensión a los accidentes. Por ejemplo, usted no sostendría en sus manos el interruptor de encendido de un calentador eléctrico mientras está en la tina de baño en su casa, sin embargo, a muchos pacientes se les pide que sostengan el interruptor de un dispositivo de calentamiento mientras se encuentran en una tina de hidromasaje. La relación es, desde luego, obvia; sin embargo, debido a que el paciente cree estar en un ambiente extremadamente seguro ha disminuido su sentido normal de autoprotección. Una situación similar podría existir al permitir que un paciente con incontinencia se quede dormido sosteniendo el interruptor de su cobija eléctrica o de su cama accionada por electricidad. De nuevo, el paciente no estaba consciente del riesgo potencial. Riesgos similares ocurren con una frecuencia inaceptable en numerosas instalaciones de atención médica. Es difícil, si no imposible, explicarle a un paciente o a su familiar, por qué ocurrió un accidente, cuando el factor causante era un riesgo previsible. A continuación citaremos algunos ejemplos al respecto:

1. ¿Cómo se le explica a una paciente que, debido a una unidad de rayos X descompuesta, sufrió una severa quemadura por radiación en el tórax, la cual sólo podrá ser aliviada mediante cirugía radical de los senos?
2. ¿Qué se le dice a los padres de un bebé que murió en una incubadora debido a un cable defectuoso que produjo una chispa, incendiando la ropa de la cama y la del niño?
3. ¿Qué se le dice a un paciente cuya cama se colapsó y le produjo lesión en la médula espinal? Estos ejemplos son reales. Muchos han ocurrido y siguen ocurriendo. Sin duda, muchos otros accidentes o riesgos menos obvios pasan inadvertidos.

A medida que lea las páginas de este Módulo Especial recuerde que tiene la responsabilidad de hacer todo lo que esté dentro de su habilidad para garantizar la seguridad del paciente y del personal. Su papel como Técnico Especialista en el Mantenimiento de Equipo Biomédico es de vital importancia y este texto está diseñado para prepararlo e inducirlo o motivarlo a aceptar esta **responsabilidad**. Usted no puede desechar esta responsabilidad, puesto que en el momento de hacerse miembro de la comunidad dedicada a la atención de la salud, usted ha aceptado las normas éticas de la profesión médica. Sus deberes, ya sea un técnico o un supervisor, implican una responsabilidad, no establecida por escrito, de que usted mantendrá siempre el nivel más elevado de profesionalismo, compasión e integridad, acorde a su papel vital como miembro de la comunidad dedicada a la atención de la salud.

Una palabra más sobre **responsabilidad**. El desarrollo de su aprendizaje le proporcionará una comprensión y conocimientos, actitudes y habilidades, excepcionales y amplios de los sistemas mecánicos y eléctricos empleados en la práctica de la medicina. Con este conocimiento viene la responsabilidad. Excepto en circunstancias muy especiales, su conocimiento de los sistemas médicos básicos será mayor que el de cualquier otro profesional de la salud que trabaje en su institución. A lo largo de su carrera, se le exigirá que comparta este conocimiento con otros miembros del personal médico. En este proceso de compartir, usted obtendrá una comprensión aún me-

del propósito y funciones del equipo médico, del cual usted es el responsable. Su profesionalismo y habilidades en estos encuentros determinará, en gran medida, el éxito o fracaso de su carrera. Debe hacerse notar que la autoridad y la responsabilidad van aunadas al conocimiento; sin embargo, la responsabilidad, a diferencia de la autoridad, no puede ser delegada. Una vez que haya completado este módulo usted habrá adquirido un conocimiento sobre la forma de trabajar y deberá asumir la responsabilidad de usar este conocimiento para llevar la mejor y más segura atención médica a las personas a quienes sirve.

PREGUNTAS

1. Describa usted lo que entienda por seguridad y riesgo.
2. ¿Qué entiende usted por autoridad y por responsabilidad?
3. Describa que actividades deberá usted promover que tiendan a incrementar la autoprotección.

CAPITULO II

PARTICIPANTES EN LA SEGURIDAD EN LAS INSTITUCIONES DE ATENCION A LA SALUD

"En una serie de acciones planeadas puede ocurrir un evento inesperado, debido a descuido, inconsciencia, ignorancia o causas inevitables que pueden o no resultar en una lesión". ¡Esto es un accidente!. Los estudios realizados muestran que el 88% de los accidentes se deben directamente a descuidos, inconsciencia y/o ignorancia. El 10% de accidentes es causado por la combinación de la falla humana y material, y el 2% es debido a causas inevitables (naturales).

Los accidentes no ocurren sin una causa, la cual es generalmente el resultado desafortunado de la compleja interacción de factores tales como:

1. El anfitrión - El individuo
2. El agente - El equipo o las instalaciones físicas.
3. El medio - Las condiciones del trabajo y/o el control del supervisor.

En todos estos factores está involucrado el factor humano y puede ser la causa principal que propicia el accidente.

Teóricamente la conducta o actitud que evita los accidentes se forma por múltiples factores; algunos se originan genéticamente y la mayoría de ellos se conforman durante el desarrollo temprano del individuo. Una educación deficiente se manifiesta en los años siguientes en personalidades con características de inseguridad. La detección de tales características personales de inseguridad es extremadamente difícil en las condiciones normales de interacción social y laboral.

Características tales como falta de atención, impaciencia, testarudez o irritabilidad (excitabilidad) son comunes en individuos que se clasifican como propensos a los accidentes. Por otro lado, acciones o condiciones específicamente inseguras pueden ser identificadas y eliminadas, con lo cual se interrumpe la secuencia de eventos que pueden llevar a un accidente y, por ende, evitarlo. Por consiguiente, los métodos prácticos de prevención de accidentes están diseñados para identificar y eliminar las acciones y condiciones de inseguridad antes de que ocurra un accidente.

Cada país cuenta con las normas y requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los hospitales y otras instalaciones de atención médica para poder

ser acreditados como tales. Sin embargo, todavía falta establecer normas más específicas sobre los aspectos de seguridad que incluyan los más recientes avances tecnológicos en la instrumentación para la atención de la salud y sus riesgos potenciales debido a su uso indiscriminado o inadecuado. Es ésta una tarea monumental. Debido a ello, es urgente que en cada institución de atención a la salud así como los de asistencia médica con tecnologías más complejas y algunas por ende de mayor riesgo se establezca un Comité de Seguridad y se divida el Programa de Seguridad en áreas funcionales. Esto, además de ser un enfoque realista, permite cumplir con los requerimientos de seguridad. Además, con este enfoque se facilita que en dichos comités participen aquellas personas con mayores conocimientos sobre los riesgos potenciales en el trabajo.

Aunque la Ingeniería en Seguridad es una ocupación necesaria y aceptada, no hay nadie más capacitado para identificar los problemas diarios de seguridad, en una ocupación específica, que el supervisor (jefe) que dirige el funcionamiento de una unidad funcional. Teóricamente, la experiencia y entrenamiento de un supervisor lo han hecho sensible a los peligros de su ocupación y lo han preparado para establecer un programa apropiado de seguridad. Sin embargo, con demasiada frecuencia encontramos que los empleados y el personal de supervisión están interesados principalmente en las funciones más profesionales e inmediatas del cuidado directo del paciente. Aunque esto puede ser más fascinante y llenar las necesidades de satisfacción en el trabajo, ignora una necesidad real del paciente, es decir, garantizar su seguridad e integridad física. Una de las principales funciones de cualquier programa de seguridad es superar esta natural reluctancia de los individuos. Hoy en día, parece ser que la solución más viable es un programa continuo de educación.

Para ser efectivo el programa educacional de seguridad debe estar orientado al trabajo específico y ser actualizado constantemente, y requiere de la participación activa de los empleados y de todos los supervisores. Aquellos programas que emplean películas "prefabricadas", excluyendo todos los demás

métodos de instrucción, están destinados al fracaso antes de empezar. Para que un programa educacional de seguridad sea más efectivo y mantenga el interés del individuo, éste debe ser incluido dentro de las reuniones normales del personal, en las sesiones de entrenamiento y en otras actividades similares. Sin embargo, un programa formal de seguridad debe ser realizado de tres a cuatro veces por año. Debe planearse bien por adelantado y ser el método preferido para proporcionar datos técnicos sobre la seguridad.

En este momento, usted probablemente está preguntándose: ¿Para qué quiero yo saber sobre los programas de seguridad para el personal de hospitales? "Yo soy un técnico en mantenimiento y mi trabajo es reparar y calibrar los instrumentos y equipos médicos, no dirigir un programa de seguridad". Si esto es lo que piensa, está equivocado ya que la seguridad en una institución de atención a la salud es trabajo de todos.

El análisis de casos reales o de descripciones de accidentes ocurridos en diversas instituciones de atención a la salud rápidamente nos indica la relevancia y la necesidad de desarrollar hábitos y actitudes, basadas en conocimientos, de seguridad en el trabajo y métodos de inspección para garantizar un ambiente de seguridad para los pacientes. Si nos detenemos a pensarlo, ¿quién podría ser más susceptible a un accidente que un paciente? El paciente es mucho más sensible al calor, al frío, al choque eléctrico. El paciente es sometido a una multitud de pruebas y procedimientos, algunos de los cuales son extremadamente peligrosos, aun bajo condiciones ideales. Por consiguiente, las instalaciones médicas representan un problema excepcional de seguridad. Por lo tanto, el programa de seguridad debe tomar en consideración no sólo la seguridad del empleado normal, sino también prestar atención minuciosa al problema de la seguridad del paciente. Cada paciente representa un tipo especial de problema para el individuo interesado en la seguridad, USTED. El objetivo principal de cualquier programa de seguridad en los hospitales debe ser despertar y desarrollar una preocupación profunda y continua por la seguridad del paciente.

Para que un programa de seguridad sea efectivo debe contar con la participación activa de todos los miembros del personal. Como técnico especialista en mantenimiento de equipo biomédico, usted tendrá un papel clave en cualquier programa de seguridad.

Su entrenamiento y experiencia le proporcionarán un amplio conocimiento sobre el uso seguro de los sistemas de diagnóstico, de terapéutica y de rehabilitación, así como la información básica sobre los riesgos potenciales. En muchos casos usted puede ser el único individuo consciente de los peligros potenciales en una institución en particular.

Usted tiene una responsabilidad claramente definida de compartir sus conocimientos con otros miembros del personal, ya sea a través de información formal o informal. Cada vez que llega un equipo nuevo a la institución médica, usted debe instalarlo o supervisar su instalación. Una vez terminada la instalación, usted debe explicarle al usuario (operador) el funcionamiento correcto, el mantenimiento que el mismo usuario debe proporcionar y las precauciones de seguridad. Esta información es tan vital como las revisiones de seguridad que usted realizó antes de entregar el equipo al usuario. Todas las medidas de seguridad del mundo son inefectivas si las personas se rehúsan a seguirlas o ignoran su existencia.

Debido a su amplio conocimiento sobre los equipos e instrumentos para la atención de la salud es posible que se le pida que imparta seminarios sobre seguridad. Acepte esta invitación, como un reto a sus habilidades técnicas y como una oportunidad para discutir aquellas áreas de la tecnología en las cuales es un experto. Si se prepara el seminario con esmero y pensándolo bien, tanto usted como su audiencia se beneficiarán de una experiencia muy provechosa.

Antes de proseguir con nuestro estudio sobre la seguridad en un ambiente de atención a la salud, revisemos lo que usted ha aprendido de lo presentado hasta ahora:

1. El 88% de los accidentes se produce por:
 - a. las personas
 - b. equipo defectuoso
 - c. condiciones inseguras
 - d. calles, pisos, resbalosos
2. Las personas que poseen personalidad con características de inseguridad se dice que son
3. Las personas con características de inseguridad son:
 - a. fáciles de detectar y corregir
 - b. difíciles de detectar, pero fáciles de corregir
 - c. difíciles de detectar y corregir
 - d. difíciles de corregir, pero fáciles de detectar

4. Las personalidades con características de inseguridad generalmente se asocian con tendencias, tales como:
 - a. excitabilidad (irritabilidad)
 - b. testarudez
 - c. impaciencia
 - d. falta de atención
5. Si un hombre construye su casa con orientación al sur por los cuatro costados y aparece un oso fuera de su casa ¿de qué color es el oso?
 - a. negro
 - b. marrón (café)
 - c. con manchas
 - d. blanco
6. Para que sean efectivas las discusiones, seminarios, etcétera, sobre seguridad, éstos deben ser:
 - a. muy detallados y basados en hechos
 - b. basados en hechos relevantes y organizados
 - c. realizados dos veces por año
 - d. realizados una vez por año
7. El individuo que debe tener más conocimientos "reales o directos" sobre los riesgos y peligros diarios es:
 - a. el supervisor de la unidad
 - b. el ingeniero de seguridad
 - c. el presidente de un comité de seguridad
 - d. el técnico especialista en el mantenimiento de equipo biomédico
8. El individuo con el conocimiento técnico más amplio sobre la seguridad en un hospital es:
 - a. el supervisor de la Unidad
 - b. el ingeniero en seguridad
 - c. el técnico especialista en mantenimiento de equipo biomédico
 - d. el presidente del comité de seguridad
9. La herramienta más efectiva de la ingeniería de seguridad es:
 - a. el diseño de equipo a prueba de fallas
 - b. el cable de tres conductores con conexión a tierra
 - c. un programa continuo de educación
 - d. el informe de accidentes

CAPÍTULO III

SEGURIDAD EN EL AMBIENTE MECÁNICO

La mayoría de los riesgos de esta categoría son fácilmente visibles para un técnico alerta. El riesgo mecánico está en cualquier sistema que sostiene un peso o utiliza poleas o engranes. En la mayoría de los casos, los signos obvios de esfuerzo, tensión, desgaste, u otra anomalía que acompañan un riesgo mecánico son visibles cuando se aplica el sentido común y algunos principios básicos. Para identificar los principios dividiremos la seguridad mecánica en las siguientes categorías:

1. Solidez estructural
2. Baleros, ejes, ruedas y rolletes
3. Sistemas de contrapeso
4. Seguros y limitadores
5. Limitadores de presión y válvulas de seguridad

Solidez estructural

Este es un grupo sumamente amplio que incluye las estructuras que soportan pesos así como la colocación adecuada de tornillos, tuercas, pijas, pernos y otros dispositivos de retención. Una falla estructural tiene una forma definida de anunciarse, mucho antes de que se complete la falla y ocurra el accidente. Su labor consiste en identificar los síntomas de una falla estructural y eliminar la causa antes de que ocurra un accidente.

Una de las señales obvias del deterioro de una superficie metálica no pintada es la apariencia cristalina del metal o la presencia de diminutas hendiduras alrededor de los hoyos. En las superficies pintadas, la pintura puede resquebrajarse, levantarse o descascararse. El ondulamiento de una superficie metálica es un signo positivo de que el material está siendo sometido a un esfuerzo incorrecto. En los hospitales son de particular importancia aquellas estructuras que sostienen equipo que cuelga de los techos. Aquellos objetos tales como lámparas en quirófanos y equipo de rayos X deben ser revisados para asegurarse de que sus monturas no se están aflojando.

Las mesas para rayos X y las unidades dentales siempre deben estar fijadas al piso. Mucho equipo médico se coloca verticalmente en las paredes o so-

portes. En ambos casos, los dispositivos de anclaje utilizados para estos objetos son sometidos a abuso y esfuerzo. Deben ser revisados por lo menos una vez cada seis meses. Revise si hay cambios de alineación, si existen partículas finas de polvo debajo de un montaje móvil, desgaste desigual de las superficies de soporte y partículas del material de construcción debajo o adyacentes a los anclajes.

Muchos de los dispositivos en una unidad médica están provistos de pivotes para el soporte del paciente o del aparato. El desperfecto de uno de estos dispositivos de sujeción podría causar un accidente. Los dispositivos de sujeción tales como chavetas, tuercas, pernos, tuercas de mariposa, etcétera, así como el eje del pivote deben ser revisados, asegurando que estén bien ajustados y buscando signos de desgaste excesivo.

Otros artículos que deben inspeccionarse para evitar fallas estructurales son los rieles de protección, la estantería, los contenedores para basura, los polipastos, los elevadores y los frenos hidráulicos.

Baleros, ejes, ruedas y rolletes

Los equipos montados en ruedas o rolletes pueden representar un riesgo por falta de cuidado e interés. Es común que un rollete desgastado se afloje y se desprenda o que los baleros se salgan del eje giratorio, lo cual hace que el rollete se flexione y doble. Estos dos problemas hacen que la unidad de soporte se voltee o caiga bruscamente de lado, produciendo un alto inmediato en su movimiento.

Las ruedas de diversos equipos deben ser limpiadas frecuentemente para evitar diseminación de las infecciones. La limpieza de las ruedas, así como de la unidad, es responsabilidad del usuario y no es una función normal del personal de mantenimiento. Durante su inspección normal de mantenimiento, el equipo que no esté correctamente limpio debe ser anotado en su informe y notificado al jefe del departamento (supervisor, etcétera).

La limpieza de las ruedas y de los rolletes es esencial para evitar que se acumulen cargas estáticas cuando se usan en un ambiente inflamable. La acu-

mulación de polvo o de otras sustancias afectará en forma adversa la conductibilidad de las ruedas.

Sistema de contrapeso

Estos sistemas son usuales en el equipo de rayos X. La unidad del tubo de un aparato de rayos X pesa aproximadamente 50 kg (100 libras). Los sistemas de contrapeso se emplean para cancelar el peso de la cabeza del tubo. El empleo del sistema de contrapeso permite manipular el tubo como si no tuviera peso alguno.

Los sistemas de contrapeso emplean ya sea resortes pesados o un sistema de cables y pesas. La falla más común en un sistema de resorte es que la cubierta o el perno que retienen el resorte se afloje, lo cual hace que el resorte pierda su tensión y que la unidad del tubo se caiga. Por consiguiente, los dispositivos que sujetan los resortes deben recibir atención especial en todas las inspecciones de mantenimiento preventivo.

El sistema de cables y pesas es mucho más difícil de inspeccionar, y por esta razón no recibe la atención que requiere. Se han producido accidentes desastrosos por esta falta de minuciosidad. La caída de un tubo de rayos X sobre una persona produce una lesión en el área de impacto que podría ser fatal; por lo tanto, deberá ponerse especial atención en la inspección de este sistema.

Las pesas están conectadas a todo el conjunto mediante un sistema de cables de acero o de cables y poleas. Lo más común es la rotura del cable de acero, aunque también es posible que una polea se afloje y se quiebre. Un cable de acero anuncia su inminente falla. El óxido, hilos de alambre rotos o flojos, indican la falla inminente de un cable.

Los cables deben ser inspeccionados por lo menos cada seis meses, pero pueden ser inspeccionados con mayor frecuencia si su uso así lo requiere. Además de inspeccionar el cable, buscando alambres rotos u óxido, revise si hay dobleces, distorsión o falta de lubricación. La mejor técnica para encontrar alambres rotos es pasar un lienzo suave de algodón a todo lo largo del cable. Un alambre roto atorará el lienzo y se sentirá un aumento en la fricción. Como se dijo antes, un alambre roto es todo lo que se necesita para condenar un cable. Las figuras III-1 a III-6 ilustran diversas etapas del deterioro de un cable. Si se nota cualquiera de estas condiciones, el cable deberá ser reemplazado inmediatamente. Cuando reemplace un cable hágalo siempre con otro

idéntico. **NO TRATE DE SUSTITUIR.** Los cables de acero pueden parecerse entre sí, sin embargo, sin una comparación minuciosa de sus especificaciones, usted no puede estar seguro de que son idénticos.

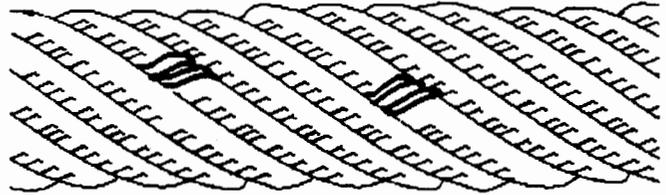


Figura III-1 Hilos y/o alambres sueltos. INACEPTABLE REEMPLACE

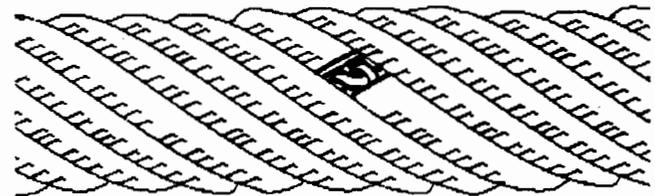


Figura III-2 Empalme de alambre retorcido en uno de los alambres externos. INACEPTABLE - REEMPLACE

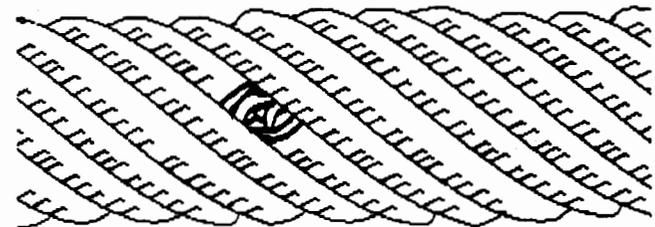


Figura III-3 Empalme de alambre retorcido en uno de los alambres internos. INACEPTABLE - REEMPLACE

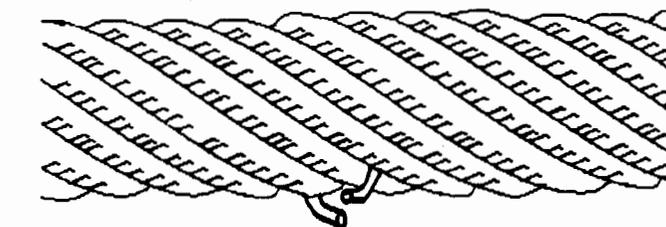


Figura III-4 Fatiga de un solo alambre en la parte externa del cable. INACEPTABLE - REEMPLACE

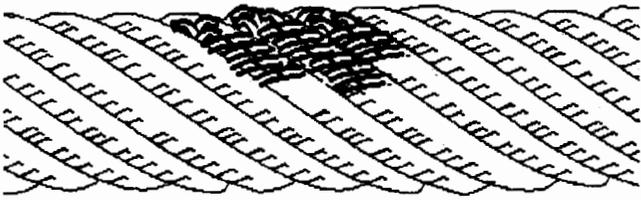


Figura III-5 Deterioro avanzado. **INACEPTABLE.** -
REEMPLACE DE INMEDIATO. UNIDAD INSEGU-
RA PARA SER USADA.

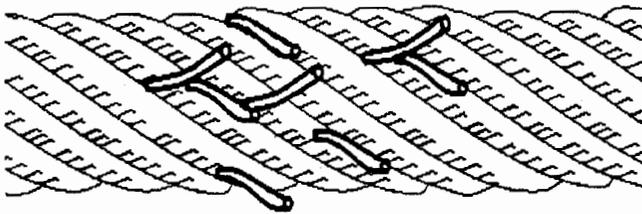


Figura III-6 Deterioro extremadamente avanzado. Fallas
en los alambres del interior, exterior y parte inmediata.
Todo el cable está a punto de fallar. **INACEPTABLE.** -
REEMPLACE DE INMEDIATO. UNIDAD EXTRE-
MADAMENTE PELIGROSA PARA SER USADA.

Las áreas de mayor desgaste se encuentran donde el cable hace contacto físico con algún otro dispositivo, tal como poleas, seguros, o puntos de anclaje. Durante la inspección preste especial atención no sólo a los puntos mencionados, sino asegúrese visualmente de que el cable no roce con ninguna parte del sistema. Además, revise que no haya dobleces o distorsión del cable.

Si un cable necesita ser reemplazado, el método normal de unir un cable al soporte del tubo es haciendo un asa en el cable y pasarle un capuchón sobre los extremos del asa, tal como se muestra en la Fig. III-7 7. Note que el capuchón tiene dos tornillos de ajuste que se comprimen contra el cable, estos tornillos no deben ser de casquete endurecido, lo cual cortaría los hilos del cable. Los tornillos de ajuste se aprietan contra los extremos distales del asa, **NUNCA** contra la parte del asa que soporta el peso, y la cabeza del tornillo no debe hacer contacto con el capuchón. Bajo ninguna circunstancia debe

dársele acabado con soldadura o retorciendo los alambres.

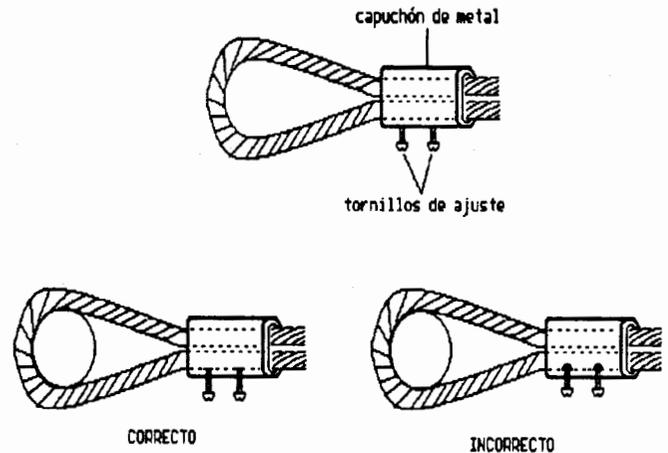


Figura III-7 PRECAUCION, No apriete de más los tor-
nillos de ajuste, esto cortaría los hilos del alambre y debi-
litaría la fuerza del cable.

Como dijimos antes, inspeccione la lubricación del cable. En la fabricación del cable se emplea un lubricante de alta temperatura igual al empleado en los aviones. Todo el cable está saturado de este lubricante y una vez al año deberá lubricarse el exterior del cable.

El lubricante comercial STP es considerado aceptable para esta labor. Aplíquelo sumergiendo un lienzo en el lubricante y luego frotando toda la extensión del cable con el lienzo. Nunca utilice un disolvente en un cable ya que éste eliminará el lubricante y producirá desgaste excesivo.

La esperanza de vida de un cable es de 3 años, después de los cuales **DEBERA SER REMPLAZADO**, sin considerar su aspecto físico a menos que el fabricante especifique un tiempo mayor de uso.

Cada vez que se reemplace un cable revise las poleas buscando desgaste por muescas. Además asegúrese que el dispositivo que es sostenido por el cable esté bloqueado de manera que no se caiga al quitar el cable. Recuerde que algunos de estos sistemas pueden soportar de 100 a 150 kg de peso muerto y su reposición cuesta miles de dólares. De tal manera que no sólo representa un riesgo de seguridad sino también financiero.

Por último, algunos de los sistemas de rayos X más modernos cuentan con un cable de seguridad como respaldo al cable principal. Revise ambos cables, buscando deterioro y cerciórese de que el dispositivo de seguridad no esté trabado.

Seguros y limitadores

Debido a que muchos de los dispositivos médicos deben ser móviles para permitir su adecuada posición es necesario limitar su movimiento para evitar daños al equipo o lesiones al paciente o al usuario. Los seguros se emplean para garantizar que el dispositivo se mantenga en posición correcta. La falla en uno de ellos puede representar un riesgo grave de seguridad.

Los limitadores (en ocasiones llamados reguladores) se presentan en diversas formas, pero la mayoría son del tipo de topes eléctricos o físicos. Un limitador eléctrico es simplemente un interruptor, el cual se acciona cuando se alcanza un punto determinado y por consiguiente desconecta la energía de la fuerza movilizante.

Los limitadores mecánicos se encuentran en unidades dentales, lámparas de quirófano y equipo de rayos X, por nombrar algunos. Generalmente un tornillo o tuerca hace la función limitadora y cuando se desgastan, el dispositivo dejará de impedir el movimiento.

Otro limitador que discutiremos brevemente es el limitador de presión, el cual se encuentra generalmente en los esterilizadores, incubadoras pediátricas y equipos de anestesia. Un limitador de presión está diseñado para detener el incremento de presión en un nivel aceptable de seguridad. Si la presión aumenta más allá de los límites aceptables, se activa el dispositivo y la presión excesiva es descargada hacia la atmósfera. El método más común para lograr esto es mediante el uso de una válvula de resorte. El resorte está diseñado para tener una fuerza igual al máximo de la presión permitida.

El problema común en estos limitadores es que se atoran si se matienen inactivos por un periodo largo. Puede acumularse corrosión, produciendo fricción adicional y por consiguiente se requiere de un aumento correspondiente de la presión para activar el limitador. La corrosión puede detener cualquier movimiento del limitador. En cada una de las inspecciones de mantenimiento preventivo vea si el limitador de presión funciona bien, y asegúrese de que la salida de ventilación no esté obstruida.

Los seguros, por lo general, son del tipo de presión. Comúnmente, dos placas de metal (generalmente, latón) se presionan contra el cable para evitar el movimiento. Estas placas se activan, por lo general, por medio de electricidad. Por consiguiente, debe cerciorarse de que los seguros estén funcio-

nando desde el punto de vista eléctrico. Los operadores de equipo, por lo general, movilizan artículos sin antes liberar los seguros. Esto producirá una ranura en las placas, en su punto de contacto con el cable. Cuando aparecen las ranuras, la fuerza de retención de los seguros se reduce o elimina. Revise los seguros, energizándolos y luego aplicando algo de presión. Remplace las placas si es necesario.

Para verificar su comprensión y progreso, conteste las siguientes preguntas, ya sea mediante un círculo en la respuesta correcta, o llenando los espacios en blanco para completar el enunciado.

1. Durante las inspecciones la mayoría de los defectos mecánicos son atribuibles a la:

2. La apariencia cristalina de una superficie metálica generalmente es un signo de:
 - a. corrosión
 - b. envejecimiento
 - c. endurecimiento de la cubierta
 - d. falla inminente
3. Las mesas para rayos X normalmente:
 - a. Se colocan libres sobre el piso
 - b. Están aseguradas al piso por tuercas
 - c. Son móviles
 - d. Sufren fácilmente de fracturas delgadas
4. Dos razones para limpiar las ruedas periódicamente son:
 - a.

 - b.

5. La limpieza normal y revisión diaria del equipo son responsabilidad de:

6. Los cables de contrapeso deben inspeccionarse:
 - a. Trimestralmente
 - b. Bimestralmente
 - c. Anualmente
 - d. Cada tres años

7. Los cables de contrapeso deben ser reemplazados cada _____ aun si todavía se ven servibles.
8. La mejor técnica para encontrar un hilo o alambre roto en un cable de acero es:
- Inspeccionarlo visualmente
 - Frotándolo con el dedo
 - Inspeccionando visualmente todas las poleas
 - Pasándole un lienzo suave de algodón sobre toda su extensión
9. ¿Cuál de los siguientes métodos es aceptable para el acabado de un cable de contrapeso?
- Soldadura
 - Puntear/soldadura de latón
 - Capuchón y tornillo de ajuste
 - Asa y retorcido
10. Los cables de contrapeso deben:
- Estar secos y libres de óxido
 - Ser limpiados con un disolvente frecuentemente
 - Ser lubricados con STP anualmente
 - Ser reemplazados cada cinco años
 - Ser reemplazados cuando haya presupuesto
11. Los limitadores de presión (aire, gas o vapor) utilizados en los equipos médicos generalmente se presentan en forma de:
- Sellos de plomo
 - Sensores electrónicos
 - Válvulas de resorte
 - Termostatos
12. ¿Cuáles de los siguientes son especialmente susceptibles a la corrosión?
- Cables de acero
 - Válvulas de resorte
 - Contrapesos
 - Interruptores de límite
13. ¿Tiene alguna pregunta respecto al material cubierto hasta ahora?
SI NO
- EN CASO NECESARIO VUELVA A LEER ESTE CAPITULO**

CAPITULO IV

SEGURIDAD EN EL AMBIENTE DONDE SE EMPLEAN GASES

El uso de diversos tipos de sistemas de gas y de aire/gas comprimidos en los hospitales modernos origina un riesgo de seguridad. Este capítulo proporciona un breve panorama de los riesgos potenciales y algunas reglas específicas a seguir en el manejo de gases en el área de atención a la salud.

Como en todos los estudios sobre temas complejos, es provechoso reducir los objetivos de aprendizaje a módulos identificables y estudiar cada uno por separado. Existen cuatro categorías generales relativas a los riesgos asociados al uso de sistemas de gas.

1. Gases inflamables
2. Gases no-inflamables
3. Gases no-inflamables, pero comburentes
4. Gases tóxicos

Los gases que estudiaremos en este capítulo quedan dentro de una o varias de las categorías citadas, es decir: **TODOS** los gases pueden causar reacciones fisiológicas que alcancen niveles patológicos (es decir, lesiones o enfermedades) bajo ciertas condiciones. De las categorías arriba mencionadas, las que presentan el mayor peligro potencial son los gases inflamables y los no-inflamables pero comburentes.

Antes de discutir las diversas categorías de gases, es esencial que usted tenga un conocimiento básico sobre combustión, así como sobre los términos más comunes. La combustión es una reacción química que requiere de condiciones específicas. Estas condiciones son:

1. Combustible: Debe estar presente una sustancia combustible, esto es, debe existir una sustancia que pueda quemarse.
2. Oxígeno: El oxígeno mantiene la combustión, sin él no puede ocurrir la combustión.
3. Calor: El material combustible debe alcanzar su punto de ignición. Aun si se presentan las condiciones 1 y 2 no habrá combustión. Deberá aumentar la temperatura al punto de iniciar la combustión. Esta temperatura depende de la cantidad de oxígeno presente y de la constitución del material combustible. Por ejemplo, es fácil incendiar un pedazo de papel en el aire pero es prácticamente imposible hacerlo con un pedazo de carbón. La temperatura de ignición es la temperatu-

ra mínima requerida para iniciar o producir una combustión que se auto-sostenga. Una sustancia con una temperatura de ignición baja, como la gasolina, es mucho más inflamable que el carbón con su elevada temperatura de ignición. Por lo tanto, los tres requisitos, conocidos como el **TRIANGULO DEL FUEGO**, deben estar presentes para que pueda iniciarse un incendio. En el uso de líquidos y gases inflamables en el área de atención a la salud deberán tomarse todas las precauciones necesarias para evitar que se complete el triángulo. Como ejemplo, imagine los resultados si los pulmones de un paciente fueran ventilados con un gas o vapor anestésico inflamable y una chispa incendiara inadvertidamente esta mezcla. La explosión resultante mataría al paciente y posiblemente lesionaría al personal cercano. Una situación similar puede ocurrir al almacenar un recipiente abierto con éter en un refrigerador que no sea a prueba de explosiones. En este caso, el vapor de éter puede escapar del recipiente, acumularse y mezclarse con oxígeno y, al activar el interruptor de la luz del refrigerador, la chispa proporcionará el tercer elemento (calor) y originará una combustión rápida, una explosión.

Gases inflamables

Los tres gases inflamables más comunes en el ambiente médico son: ciclopropano, etileno y óxido de etileno. Los dos primeros se empleaban ampliamente como anestésicos. Afortunadamente, en los años cincuentas se descubre el halothano, gas no-inflamable, que se empezó a usar en los sesentas; en la actualidad existen otros gases de mayor potencia y seguridad como el Metoxifluorano. Los riesgos asociados al óxido de etileno, que se utiliza como agente esterilizador, se discuten más adelante en este capítulo. El ciclopropano y el etileno son gases no-explosivos, excepto bajo condiciones especiales (relación específica: oxígeno-gas); sin embargo, son bastante inflamables. Ambos son incoloros y tienen un olor dulce característico. Observando ciertas pre-

cauciones pueden ser manipulados y empleados con seguridad. La principal precaución de seguridad es que no alcancen el punto de ignición. Todo lo que se requiere para ello es una chispa, de tal manera que deben eliminarse todas las posibilidades de que se produzca ésta. Como ya se mencionó, el desarrollo de otros gases con mayor potencia anestésica y menos inflamables los han sustituido.

En todos los hospitales se encuentran numerosos líquidos inflamables. Quizá el más peligroso sea el éter, el cual ya no se usa como anestésico, pero sí en pruebas de laboratorio clínico. Otros líquidos de interés son el alcohol, el cloruro de etilo, la acetona y, desde luego, la gasolina y diversas pinturas y lacas. Se mencionan en esta sección puesto que los riesgos que conllevan son similares a aquéllos asociados a los gases. En teoría, un líquido inflamable no se quemará en su estado líquido: debe ser cambiado primero a su estado gaseoso o a vapor por evaporación (COMBUSTIBLE). El calor en cualquier forma produce combustión. Si ocurre rápidamente en un área cerrada producirá también una explosión. Un comentario más acerca del éter. El éter, al envejecer, tiende a cristalizarse. Cuando esto ocurre, se vuelve altamente explosivo y deberá descartarse inmediatamente. En algunos laboratorios de análisis clínicos se utilizan gases para producir una llama que, al quemar metales como sodio o potasio, cambia el color de la flama. Estos gases se surten en tanques especiales.

Gases no-inflamables pero comburentes

Estos son gases que no son inflamables pero que facilitan la combustión, es decir, son comburentes. Recordarán que en la presentación sobre los principios básicos de la combustión, el segundo requisito para obtenerla era la presencia de un gas facilitador de la combustión (oxígeno). Aunque estos gases no son inflamables, representan un verdadero peligro puesto que vuelven más inflamables los materiales combustibles. De hecho, muchos materiales que normalmente no son considerados inflamables se quemarán violentamente en presencia de altas concentraciones de estos gases. Existen dos gases facilitadores de la combustión, que normalmente están presentes en una institución médica; éstos son el oxígeno y el óxido nitroso. El oxígeno puede encontrarse prácticamente en cualquier departamento, mientras que el óxido nitroso, un anestésico leve, se

encontrará en el quirófano, en la sala de urgencias, en las salas de cirugía menor, etcétera. El óxido nitroso es incoloro y tiene un olor y sabor tendiente a dulce. El oxígeno es incoloro, inodoro e insípido, por lo que su fuga y acumulación peligrosa son difíciles de detectar.

Gases no-inflamables

Estos gases, incluyendo el nitrógeno en esta categoría, no son ni inflamables ni comburentes. Como tales no requieren precauciones especiales, excepto contra la asfixia y las reglas generales de manipulación de gases comprimidos que se discutirán más adelante en este capítulo.

Gases tóxicos

En esta categoría se incluyen aquellos gases que son venenosos o tóxicos. Estos generalmente son fatales aun en concentraciones relativamente pequeñas. Estos gases deben emplearse con extremo cuidado y bajo condiciones muy exactas. El uso más común de un gas tóxico es en la antiseptia (esterilización) por gas. El óxido de etileno tiene la habilidad de penetrar la mayoría de las sustancias y mata todas las formas conocidas de bacterias. Este gas puede ser extremadamente dañino para los usuarios del equipo u otro personal, si no se toman las precauciones extremas requeridas para su uso.

El supervisor, que ha sido capacitado adecuadamente en el uso del equipo de esterilización por el técnico en equipo biomédico o por el representante del fabricante, constituye un eslabón vital en la cadena de seguridad. El supervisor debe proporcionar un programa completo de entrenamiento para todo el personal involucrado en el manejo del proceso de esterilización. Es su responsabilidad hacer que se cumplan con todas las precauciones de seguridad en todas las fases del manejo. No puede sobrevalorarse este programa de entrenamiento.

Obviamente, uno de los principales riesgos de estos sistemas son las fugas. Una fuga sin detectar puede llevar a un desastre. De nuevo, aprenda todo lo que pueda sobre el sistema en uso y asegúrese de que los usuarios comprendan totalmente todos los riesgos involucrados.

Cuando nos preocupamos por el cuidado adecuado de los cilindros de gas en un hospital debemos incluir los cilindros de óxido de etileno en este ámbito de precaución. Existen algunas reglas simples de se-

guridad que deben observarse para garantizar la seguridad de todos aquéllos involucrados en el manejo de cilindros de gases. Estas reglas son:

1. Los cilindros deben almacenarse en un lugar relativamente frío (12.8°C a 14.4°C; 55°F a 58°F).
2. Los cilindros grandes no deben ser movidos a mano, sino empleando carretilla o montacargas.
3. La válvula del cilindro debe quedar bien cerrada antes de desconectar el cilindro.

Ya que hemos cubierto algunos de los gases utilizados en una instalación de atención a la salud y los cilindros en los cuales se almacenan, veamos ahora el área donde ocurren la mayoría de los accidentes con gases comprimidos, es decir, el área de manejo y almacenamiento de los gases comprimidos.

Almacenamiento de gases

Las áreas de almacén en los hospitales varían desde la más compleja hasta la más peligrosa. Sin embargo, existen ciertos requisitos básicos que todo almacén debe cumplir.

1. El almacén debe estar accesible para todas aquellas actividades que lo requieran, pero no debe permitirse el acceso de personal no-autorizado.
2. El almacén debe ser resistente al fuego y estar bien ventilado.
3. No debe colocarse donde una fuga pueda difundirse hacia flamas abiertas o a equipo en el que se producen chispas.
4. En las instalaciones a la intemperie, los cilindros deben protegerse de la luz solar directa.
5. Las instalaciones a la intemperie deben tener buen drenaje.
6. Los cilindros llenos deben estar separados de los vacíos, con cada área bien delimitada.
7. El oxígeno y los gases inflamables no deben almacenarse en el mismo cuarto.
8. No debe permitirse la acumulación de basura y trapos en el almacén.
9. Todos los cilindros diseñados con capuchón protector deben tener colocado dicho capuchón cuando no estén en uso.

Estos son los requisitos básicos, cuando exista alguna duda sobre el cumplimiento de las medidas de seguridad en un almacén deberán consultarse las normas de seguridad correspondientes.

Manejo de gases comprimidos

Los gases comprimidos para uso médico pueden ser manipulados con seguridad. La seguridad en el manejo de gases comprimidos sólo se puede obtener si el personal cumple con las siguientes características:

1. Esté familiarizado con las propiedades de los gases comprimidos que requiere manejar.
2. Esté bien instruido en las técnicas correctas del manejo de gases comprimidos.
3. Esté consciente de las medidas de seguridad al manejar los gases.

La razón por la cual los gases comprimidos requieren de un manejo especial es porque están comprimidos. Esto simplemente significa que un gran volumen de gas se ha introducido dentro de un recipiente pequeño. La única forma de lograr esto es utilizando una presión elevada. Esta presión puede ser hasta de 2000 libras por pulgada cuadrada (136 atmósferas)¹ Obviamente, si se rompe uno de estos cilindros con tanta presión ocurrirán eventos muy violentos. La válvula de la parte superior del cilindro es la parte más vulnerable del mismo y si ésta es desprendida por la fuerza, tendremos inmediatamente un torpedo capaz de atravesar paredes de ladrillo. Si se rompe el cilindro en sí, éste probablemente se haga añicos, haciendo volar fragmentos de metal en un área muy amplia y dispersa.

Para manipular con seguridad los cilindros deben seguirse las siguientes reglas para todos los gases:

1. Nunca mueva un cilindro sin antes colocar el capuchón de seguridad.
2. Transporte los cilindros mediante un montacargas en el cual pueda fijar los cilindros.
3. No arrastre, ni ruede, ni jale un cilindro.
4. No deje caer los cilindros, ni permita que choque con otros cilindros.

1 **Nota:** 1 atmósfera = 14.7 libras por pulgada cuadrada = 101300 newtons por metro cuadrado, es decir, pascales.

¿Cómo poner en servicio un cilindro de gas?

Antes de poner en servicio un cilindro de gas, deben observarse algunas reglas de seguridad:

1. Cualquier material extraño debe ser eliminado de la salida de la válvula antes de conectar el regulador de presión. Esto es fácil de realizar. Lentamente abra la válvula hasta que salga una pequeña cantidad de gas. Esto permitirá que el gas que escapa elimine el polvo, etcétera, de la salida de la válvula. Cuando haga esto, cerciórese de que no haya nadie en la trayectoria de la salida de la válvula, y si el cilindro va a ser usado donde haya pacientes, hágalo antes de llegar con el paciente. El gas que escapa es bastante ruidoso y podría molestar al paciente.
2. Siempre estabilice el cilindro antes de ponerlo en servicio. la estabilización del cilindro tiene por objeto impedir que se caiga.
3. Una vez limpiada la válvula y estabilizado el cilindro, conecte el regulador de presión. Abra la válvula del cilindro lentamente y asegúrese que la parte frontal del calibrador no apunte hacia usted. Esta es una precaución en caso de que explote el regulador.
4. Nunca trate de transferir gas de un cilindro a otro. Esto requiere de equipo especial a presión elevada con el cual usted no cuenta.
5. Evite el uso de adaptadores. Utilice sólo los reguladores y empaques para los gases que fueron diseñados.
6. Nunca use el gas directamente del cilindro. Utilice un regulador apropiado para disminuir la presión.
7. No trate de usar reguladores defectuosos o cilindros con válvulas defectuosas.
8. No se refiera al contenido de un cilindro como si fuera **aire**, a menos que realmente lo sea. **SIEMPRE** refiérase al gas por su nombre correcto.
9. Nunca use gases comprimidos en lugar de aire comprimido, es decir, para limpieza, etcétera.
10. Nunca quite o borre las etiquetas utilizadas para identificar el contenido de un cilindro.
11. Nunca utilice un cilindro como pieza para rodar, soporte, o cualquier otro propósito que no sea el de almacén de gas comprimido.
12. Nunca deje la válvula abierta en un cilindro vacío.

Las siguientes reglas son misceláneas, pero son necesarias para la seguridad en el uso y manipulación correcta de los gases comprimidos.

1. Nunca permita que la grasa, el aceite u otros materiales inflamables se pongan en contacto con cilindros de oxígeno u óxido nitroso, válvulas, reguladores, calibradores o empaques.
2. Nunca manipule los cilindros con manos, guantes o trapos grasosos. Esto es extremadamente importante al manipular cilindros con oxígeno u óxido nitroso.
3. Nunca lubrique los calibradores, empaques o reguladores con aceite u otras sustancias inflamables, si el gas contenido es un comburente.
4. Nunca cubra un cilindro con una bata, bolsa de plástico, etcétera. Si la válvula tiene una fuga, la cubierta hará que el gas se acumule en grandes concentraciones. Esto es especialmente importante cuando los gases son inflamables o comburentes. Al retirar la cubierta, podría originarse una carga estática que incendiaría la cubierta, el gas o ambos.

Manejo de cilindros vacíos

Los cilindros vacíos merecen el mismo respeto que los llenos. Cuando se retire un cilindro de servicio por estar vacío, la válvula debe estar cerrada, atornillado el capuchón y el cilindro debe desplazarse mediante un montacargas. El cilindro debe marcarse como **VACIO** para evitar que alguien más lo use de nuevo. El cilindro debe guardarse en el área de almacén adecuada hasta que sea recogido para su llenado. Recuerde, estos cilindros vacíos deben estar separados de los llenos.

Aire comprimido

Cuando esté tratando de detectar una fuga de aire comprimido nunca use su dedo. La perforación por donde escapa el aire, por lo general, es muy pequeña. Por consiguiente, el aire al salir a presión podría actuar como un cuchillo y causarle una cortadura en el dedo. Además, siempre que trabaje con sistemas de aire comprimido utilice lentes de protección.

Antes de proseguir con el siguiente capítulo, conteste las siguientes preguntas y si es necesario vuelva a leer el capítulo.

1. Las cuatro categorías de riesgos en un ambiente donde se emplean gases son:
 - a.
 - b.
 - c.
 - d.
2. Para iniciar y mantener una combustión, los tres elementos que deben estar presentes son:

3. Haga un esquema del **TRIANGULO DEL FUEGO** e identifique los elementos.
4. Defina la temperatura de ignición.
5. ¿Cuál categoría de gases representa el mayor riesgo?
6. El éter puede ser almacenado sin peligro en un refrigerador casero, puesto que su temperatura se mantiene por abajo del punto de ignición.
 - a. VERDADERO
 - b. FALSO
7. ¿Cuáles son los tres gases inflamables más probables que existan en un hospital?
8. El éter se quema en su estado líquido.
 - a. VERDADERO
 - b. FALSO
9. ¿Dónde puede encontrarse óxido nitroso en un hospital?
10. El óxido de etileno ES/NO ES un gas tóxico (marque la respuesta incorrecta).
11. Enumere 7 requisitos para el almacenamiento apropiado de gases comprimidos dentro de un hospital.
12. ¿Cuáles son las reglas de seguridad que deben cumplirse antes de poner en servicio un cilindro de gas?
13. ¿Cuán a menudo deben lubricarse los calibradores de los tanques que contienen oxígeno?

 ¿Por qué?

14. Los cilindros de gas siempre deben estar cubiertos o envueltos cuando no se usan.
 - a. VERDADERO
 - b. FALSO
15. Los cilindros vacíos deben almacenarse con la válvula abierta.
 - a. VERDADERO
 - b. FALSO
16. Al buscar una fuga de aire comprimido, nunca debe usarse el dedo.
 - a. VERDADERO
 - b. FALSO

CAPITULO V

SEGURIDAD CONTRA RADIACIONES

La seguridad contra los efectos de las radiaciones ha recibido gran atención desde que se utilizaron por primera vez los rayos X en el diagnóstico médico. Sin embargo, a pesar de las regulaciones sobre seguridad y la constante educación sobre precauciones en el uso de radiaciones, las personas son sometidas a radiaciones excesivas, ya sea por su propia ignorancia, la ignorancia de otros, o por equipo defectuoso. Usted, como profesional o técnico de diseño y mantenimiento, estará en contacto con los tres casos. Primero, por su propia ignorancia, usted podrá exponerse a radiación excesiva. Segundo, es responsabilidad suya corregir a cualquier operador de un equipo de rayos X, quien por su descuido o ignorancia someta a otros a radiación excesiva. Y, tercero, usted es responsable de que cualquier equipo productor de radiación esté correctamente calibrado y funcione bajo las mejores condiciones de seguridad. Antes de que consideremos las precauciones de seguridad, veamos qué es lo que las convierte en un riesgo para la salud.

Efectos biológicos de la radiación

La energía electromagnética se establece en una escala denominada espectro electromagnético. A medida que progresamos de izquierda a derecha sobre el espectro, la frecuencia de las ondas magnéticas aumenta y sus longitudes de onda disminuyen.

Las longitudes de onda más cortas pertenecen a las regiones de rayos X y rayos gamma. Normalmente, cuando hablamos de ondas de radio asociadas con radar, pensamos que sus longitudes de onda son muy cortas. Sin embargo, la longitud más corta de onda de radio es de aproximadamente 0.0001 metros, mientras que la onda más corta de un rayo gamma es de 0.00000000000001 metros. La energía electromagnética de estas longitudes de onda extremadamente cortas tienen algunas propiedades muy interesantes. Primero, y lo más importante, pueden penetrar aun el material más denso. Segundo, esta onda de elevada energía puede ionizar los gases. Tercero, tiene efectos extraños sobre los organismos vivos. Pueden hacer variar las tasas de crecimiento de las células, produciendo cáncer; pueden reaco-

modar cromosomas produciendo mutaciones en la descendencia de la persona expuesta; pueden causar esterilidad, cataratas oculares, desórdenes sanguíneos; y, en cantidades suficientes, pueden causar la muerte. Por el otro lado, su uso bajo condiciones controladas ha eliminado con éxito crecimientos cancerosos, ciertas enfermedades cutáneas, y es invaluable en el diagnóstico de enfermedades y lesiones.

Hay dos factores que favorecen que estas radiaciones sean extremadamente peligrosas. Primero, no pueden ser detectadas por ningún sentido de los seres humanos. En otras palabras, no pueden verse, sentirse, olerse, saborarse u oírse. Como dato interesante se puede mencionar que las ratas pueden detectar la generación de rayos X por el ozono que se produce concomitantemente (Role of the olfactory bulbs in X-ray detection. Rad. Res 29 (3): 354-361, 1966 Brust-Carmona H.,H, Kazprzak and E.L. Gasteiger). Segundo, son acumulativas, es decir, la radiación recibida se mantiene por un largo periodo de la vida. Debido a que se recibe la radiación en dosis muy pequeñas no se siente ningún efecto inmediato. Sin embargo, a medida que la cantidad aumenta, los efectos se hacen más pronunciados. Aún no se ha establecido si existe o no un umbral de exposición permisible en el ser humano. Sin embargo, la Comisión Nacional para Protección y Medición de Radiación (de EE.UU.) ha establecido algunos lineamientos básicos sobre la cantidad máxima permisible de radiación que el ser humano puede recibir. Estas recomendaciones las damos aquí sólo como referencia. Debido a que están sujetas a cambio, deben consultarse las últimas publicaciones sobre Seguridad contra Radiaciones. En la actualidad, se recomienda que la máxima cantidad permisible para la exposición ocupacional sea de 0.3 roentgen (300 miliroentgens) por semana y 5 roentgen por año para la exposición no ocupacional. Ambos límites se refieren a exposición corporal total. El roentgen es la unidad de medida para las radiaciones ionizantes. Se define como la cantidad de radiación que produce una unidad de carga electrostática en 1 cm cúbico de aire. Exposición ocupacional se define como la exposición recibida durante el trabajo. De manera que usted queda dentro de esta categoría.

La exposición no-ocupacional generalmente proviene de exámenes y tratamientos médicos.

Ya hemos explicado los efectos biológicos de los rayos X, por consiguiente ya sabemos por qué son peligrosos. Veamos ahora los pasos que tenemos que dar para minimizar la exposición a la radiación, tanto suya como del paciente.

Como se mencionó anteriormente, los rayos X pueden penetrar hasta el material más denso. Sin embargo, la cantidad de penetración es directamente proporcional a la densidad de la sustancia. Por ejemplo, un rayo X de cierta longitud de onda puede penetrar 183 cm (6 pies) de madera o 30.5 cm (1 pie) de concreto, pero sólo 1.2 cm (media pulgada) de plomo. Este hecho nos lleva al primer método de defensa contra los rayos X: **Blindaje**. Si puede poner suficiente material entre usted y los rayos X, usted estará protegido. Esta es la técnica empleada en las salas de diagnóstico con rayos X, al forrar las paredes con láminas de plomo, con lo cual se protege al personal que se encuentra en las salas adyacentes. Dentro de la sala para rayos X, se construye una pared o mampara forrada de plomo alrededor de los controles de la unidad de rayos X para protección del operador.

El segundo método de defensa es la distancia. Si usted se aleja lo suficiente de la fuente de radiación, no recibirá dicha radiación. Este hecho puede entenderse con mayor facilidad si nos percatamos de que los rayos X obedecen la ley inversa del cuadrado de la distancia. Esto significa que si se duplica la distancia de separación de la fuente de rayos X, se recibirá tan sólo la cuarta parte de la radiación. Por tanto, la distancia es un factor extremadamente importante cuando se utilizan rayos X.

Estos dos métodos de defensa son en realidad lo único que puede hacerse en cuanto a la protección contra los efectos de los rayos X. Sin embargo, si se utilizan correctamente y se obedecen algunas reglas básicas de sentido común, los rayos X representan poco peligro.

Reglas a seguir en el uso de radiaciones

Los tubos generadores de rayos X están contruidos de manera que concentran dichos rayos (rayo principal) en un área pequeña del propio tubo, en la cual "se concentra o se dirige la mayor radiación". Estos tubos, a su vez, se encierran en un cilindro metálico de mayor diámetro de acero y con plomo (cabeza del aparato) que tiene una abertura cubierta

con material permeable a los rayos X (ventana). Esta cabeza se llena de aceite especial haciendo un vacío, el ajuste final hace que coincida la ventana con el área del tubo en la que se concentra la emisión de radiación.

La radiación más importante del tubo de rayos X se emite a través de la ventana. Sin embargo, puede producirse algo de radiación a través de la cubierta de plomo que rodea al tubo. Esto se conoce como **Radiación de Fuga**. La cantidad de radiación de fuga va a depender de las condiciones de la cabeza del tubo. Además, como el rayo principal va a pasar a través de algún objeto, parte de éste se desvía, a diferentes ángulos, en lugar de penetrar en el material. Estos rayos X son denominados **Radiación Dispersa**. La **Radiación de Fuga** y la **Radiación Dispersa**, a menudo, se conocen como **Radiación Errática**. Aunque no tienen el mismo poder de penetración que el rayo principal, sí representan un peligro. Por consiguiente, al efectuar pruebas indispensables, nunca se confíe simplemente con apuntar la ventana de la cabeza del tubo hacia una esquina, y presuponer que con ello está a salvo, siempre cúbrala con una lámina de plomo, cuando menos póngale el mandil o el guante de protección.

Otros métodos de protección que pueden emplearse son:

1. Si está usted trabajando en un circuito que no requiere de la producción de rayos X, desconecte el transformador de alto voltaje. Esto evitará la generación de rayos X y usted no tendrá que preocuparse por ellos.
2. Si tiene usted que generar rayos X, cubra la ventana del tubo con plomo. Esto confinará la mayor parte del rayo principal y reducirá en gran cantidad la dispersión de los rayos por toda la sala. Siempre existen pequeños trozos de cubiertas de plomo en una sala para rayos X y no representa ningún problema cubrir la ventana con ellos (como se mencionó antes).
3. Manténgase lo más posible atrás de la caseta forrada de plomo.
4. **NUNCA SE UTILICE A SI MISMO COMO SUJETO DE PRUEBA**. Si debe usted tomar una radiografía de una parte del cuerpo para verificar la calidad de la misma, asegúrese de no usar a alguien que trabaja en el área de radiación. Esto es, no se use a usted mismo ni a otro técnico en ra-

diación. Debe admitir que sólo un tonto se expondría intencionalmente a radiaciones adicionales cuando de por sí ya las está recibiendo en su trabajo diario.

5. Como una "buena costumbre" de la aplicación del ABCDE descrito en el capítulo I, al ir a trabajar en una sala de rayos X, analice y busque cuidadosamente:

a) dónde está el interruptor de energía; b) revise los fusibles; c) revise los cables de alto voltaje; d) revise las conexiones a los transformadores, a la mesa de control; e) revise los cables de alta tensión conectados a la cabeza del aparato; f) revise las condiciones del contra-peso de la cabeza, los movimientos y frenado de la misma, así como los movimientos de la mesa. Todo esto le ayudará, e inclusive le salvará la vida, cuando en caso de emergencia tenga que efectuar mejores y más rápidas respuestas y, sobre todo, que no aumente su riesgo; por ejemplo, al mover la cabeza del tubo y se le caiga encima o no poder frenarla; o no poder interrumpir rápidamente la corriente eléctrica.

Protección de los pacientes

¿Qué podemos hacer para proteger al paciente? El técnico en rayos X depende de su máquina para ser exacto. Si desea tomar una radiografía de la médula espinal, él sabe cuánta radiación se requiere para ello y ajusta los controles adecuadamente. Si estos controles no son establecidos con exactitud, probablemente la radiografía no tenga valor alguno. Esto significa que tendrá que tomar otra radiografía y, por consiguiente, exponer al paciente a más radiación. De tal manera, que podemos ver que el paciente recibió el doble o más, ya que una mala radiografía también puede ser por exceso, de la dosis que requería. Por consiguiente, su primera responsabilidad es asegurarse de que los controles estén ajustados con exactitud. Si el cronómetro está ajustado a 1/10 de segundo, asegúrese que la exposición sea de 1/10 y no de 1/5 ó 1/20. Asegúrese de que todos los medidores de la unidad proporcionen lecturas exactas.

Detección de Radiación y Control del Personal

Como se mencionó anteriormente, la radiación no puede ser detectada por los sentidos. Por consi-

guiente, hubo que desarrollar un método que permitiera el control de exposición a la cual se somete el personal. Existen numerosas formas para detectar y cuantificar cualitativa y cuantitativamente la radiación; entre ellas, las más comunes son: el "dosímetro de bolsillo", el medidor-R y la identificación personal a base de película fotográfica. Los dos primeros dependen de los efectos ionizantes de la radiación sobre los gases. La identificación personal utiliza película fotográfica y es el dispositivo más ampliamente utilizado para el control general del personal. Todas las formas de radiación oscurecen la película fotográfica, tal como lo hace la luz. La cantidad y la densidad del oscurecimiento pueden ser convertidas a unidades roentgen, lo cual proporciona información sobre la cantidad de radiación que ha incidido sobre la identificación personal. Este es un dispositivo muy sencillo. Consiste en una cubierta de plástico dentro de la cual se encuentra la tira de película fotográfica. La película se cubre con papel a prueba de luz para protegerla de la exposición de la luz. Recientemente se han diseñado detectores con materiales especiales que generan fluorescencia que son más sensibles y económicos de fabricar.

La información proporcionada por este dispositivo detector de la radiación beneficia únicamente al usuario, por lo tanto éste debe hacer todo lo que esté a su alcance para usarlo y cuidarlo correctamente. Puesto que lo que nos incumbe es la cantidad total de radiación recibida por el cuerpo (exposición corporal total) esta identificación (dispositivo) debe usarse a la altura del tórax. Cualquier radiación que incida sobre esta parte del cuerpo, seguramente está incidiendo sobre el resto del cuerpo. La identificación debe ser usada por encima de la ropa. **No debe colocarse en los bolsillos o en la caja de herramientas.** Debe usarse sólo cuando se esté trabajando en un área con radiaciones. Este dispositivo es especialmente vulnerable al calor y a la luz solar, de manera que no debe usarse a la intemperie, a menos que se esté trabajando en una unidad de campo.

Antes de continuar evalúe usted mismo su aprendizaje contestando las siguientes preguntas:

1. Los efectos biológicos de la radiación son:
2. La radiación puede ser detectada fácilmente por uno o más de los sentidos.
a. VERDADERO b. FALSO
3. La dosis máxima de exposición ocupacional es de:

- a. 0.3 roentgens
 - b. 3 roentgens
 - c. 0.5 roentgens
 - d. 5 roentgens
4. La cantidad de penetración de la radiación es (directamente/inversamente) proporcional a la densidad de la sustancia. Subraye la opción correcta.
5. Cuando piensa en los efectos de la radiación y la distancia, ¿cuál ley le viene a la mente? Explique brevemente esta ley.
6. La radiación se compone de la radiación dispersa y la de fuga. Explique la diferencia entre la radiación de fuga y la dispersa.
7. Su película fotográfica de protección debe usarla siempre que:
- a. Se encuentre trabajando con un aparato para rayos X
 - b. se encuentre dentro de la sala para rayos X
 - c. el aparato para rayos X esté produciendo rayos X
 - d. en cualquier lugar donde exista algún tipo de radiación.
- (Puede escoger el número de letras que considere necesario.)
8. El dispositivo de detección y cuantificación de radiación es una protección para:
- a. usted
 - b. el personal directivo
 - c. el paciente
9. El correcto uso de estos dispositivos de identificación de radiación es obligación de:
- a. los directivos
 - b. los delegados del sindicato
 - c. usted.
10. Escriba usted los conceptos o datos que le gustaría a usted tener en una nueva edición de este Manual y envíelo a la Delegación o Representación de la OPS en su país.

CAPITULO VI

SEGURIDAD ELECTRICA

Conexiones eléctricas con "trampas"

Usted puede tener la impresión de que la seguridad eléctrica se aplica sólo a aquellas áreas del hospital que contienen equipo altamente complicado; sin embargo, esto no es necesariamente así. Los riesgos eléctricos existen en todas las áreas del hospital y el mayor riesgo lo representan las personas. Si pudiéramos hacer que el personal de un hospital se vuelva consciente de las medidas de seguridad, más del 95% de las condiciones de riesgo podrían ser eliminadas con un mínimo de esfuerzo y tiempo. El problema puede reducirse al hecho de que todos pensamos que si un equipo funciona es seguro, aun cuando tengamos alambres sueltos expuestos, o se haya tenido que diseñar alguna forma de "trampa" para hacerlo "trabajar", etcétera. Sin duda que encontrará algunas de estas horribles adaptaciones en su campo de trabajo, parece que tuviéramos algunos de los más ingeniosos "ingenieros" del mundo trabajando en nuestros hospitales. Ellos pueden crear formas para desafiar cualquier medida de seguridad diseñada por el ser humano. El único problema es que no saben lo que están haciendo e invariablemente crean una situación que es peligrosa no sólo para el paciente sino para ellos mismos. Una de sus acciones más comunes es el uso de un adaptador que convierte una clavija de tres puntas (terminales) en una de dos para poderla conectar a un enchufe sin conexión a tierra. El uso del adaptador de por sí ya es bastante malo, pero por lo general ni siquiera se molestan en conectar la terminal de tierra del adaptador, cuando menos a un tubo de cobre por el que circula agua. El verdadero desastre detrás de esta práctica es que quizá ese adaptador se mantenga en el cable de línea aun cuando más tarde se conecte a un enchufe con conexión a "tierra física". La mejor forma de eliminar este problema es asegurarse de que cualquier enchufe que no tenga conexión a tierra sea comunicado al personal de mantenimiento del edificio (Ingenieros Civiles) para que lo replacen. Luego educar al personal para que se percate de los riesgos que está creando (revise los apéndices relativos a tierra, blindaje, etcétera, del capítulo V del Texto).

Las extensiones, otra "trampa", son a veces un mal necesario, pero su uso debe restringirse al mínimo absoluto por un tiempo limitado (solución provisional, nunca definitiva). Tienen muchas desventajas y vamos a examinar algunas de ellas. Primero, el técnico no se percata o no se toma el tiempo para considerar el hecho de que tanto el diámetro como el tamaño del cable de línea está en relación directa con la cantidad de corriente que el aparato consume para su funcionamiento. Por consiguiente, si tiene una extensión de la longitud requerida, independiente del diámetro, ésta es la que va a usar. ¿Qué pasaría si la extensión tiene alambres del No. 18 y el cable de línea es del No. 12? Una buena posibilidad es que la extensión se caliente demasiado e inicie un fuego y, ciertamente, si el aparato es de alta precisión no funcionará correctamente.

El uso de una extensión es una buena forma de perder la conexión a tierra de su equipo. La mayoría de las extensiones que se encuentran esparcidas en las instituciones para la salud son de tan sólo dos conductores. De manera que, aun cuando todos los enchufes del hospital tengan su conexión a tierra, lo cual no es la regla en Latinoamérica, de nada le servirá si se usa una extensión de dos conductores.

Otra desventaja es que las extensiones tienden a fallar. Por lo general, se encuentran en el piso y el equipo y las personas pasan encima de ellas, se pisan, etcétera. Desde luego, que no pueden resistir este tipo de maltrato. Si tiene suerte, uno de los alambres portadores de corriente se rompe y la extensión ya no puede usarse. Si no tiene suerte, el alambre de tierra se rompe y nadie se percata de ello hasta que recibe una descarga eléctrica o se rompe el aislante y queda expuesto un alambre desnudo y alguien se electrocuta o cuando menos sufre una quemadura importante.

Tal como con los enchufes "de trampa", la educación es la mejor defensa contra las extensiones. Una buena regla para el uso de extensiones es que su uso debe ser temporal y necesario en el momento. Sin embargo, si su uso va a ser permanente, haga que se instale un enchufe adicional, con el cableado adecuado y las conexiones a tierra física.

Otra "trampa" que seguramente va a encontrar son las clavijas de conexión múltiple. Este pequeño

dispositivo, tan accesible, se conecta a un enchufe y se pueden conectar hasta tres unidades diferentes al mismo tiempo. Primero, éste es un dispositivo de dos conductores, así que ha perdido su conexión a tierra. Segundo, esta práctica seguramente va a sobrecargar al circuito alimentador y con ello originará un riesgo de incendio. Por lo general, en las instalaciones de atención a la Salud de Latinoamérica no se alcanza frecuentemente esta eventualidad, (¿o no se reporta?) pero sí ocasiona que aparatos muy precisos, que deben tener una corriente muy constante en magnitud y tiempo, no funcionen correctamente (revise el apéndice A del Capítulo V del texto). De nuevo, la mejor defensa es la educación. Si se requieren enchufes adicionales, haga que se instalen. Este es un problema real sobre todo en las construcciones más antiguas que no tienen suficientes enchufes para la cantidad de instrumentos eléctricos empleados hoy en día. Al instalar los nuevos enchufes deberá cerciorarse de que el cable de alimentación sea del grosor adecuado, y asegurarse de que no aumentará el tamaño de la "malla conductora" al conectar algunos de estos aparatos al paciente.

Otra práctica muy común es el uso de cinta adhesiva o de cinta aislante para hacer que un enchufe o un cable haga contacto. Si la punta (terminal) no se mantiene en posición, el técnico toma un pedazo de cinta adhesiva y se la pega y "funciona". Supongamos que ésta era la terminal de tierra y el contacto adentro del receptáculo estaba roto, haciendo que la terminal estuviera floja, de manera que ahora no tenemos conexión a tierra. De nuevo, la única defensa es la educación y cada vez que usted vea cinta adhesiva en una pieza busque su razón de ser. ¿Cuál sería su impresión respecto a un técnico especialista en mantenimiento de equipo médico, si encuentra el equipo que está bajo su responsabilidad todo pegado con cinta adhesiva? El desarrollo excelente de algunas cintas adhesivas, ya aceptadas en nuestro medio, como el "masking", ha difundido su uso como "aislantes"; un uso completamente inadecuado.

Técnicas abusivas

Otro grupo de riesgos podría clasificarse como técnicas abusivas por parte del personal. Bajo este rubro podríamos colocar: jalar los cables de línea, pasar equipo sobre ellos, pisotearlos, colocarlos en superficies calientes, cortarles la terminal de tierra, etcétera. La única respuesta a estos problemas es, de nuevo, la educación. Muéstrela a los técnicos lo

que están haciendo y cómo los pone en peligro, no sólo a ellos sino también a los pacientes. Hágalos conscientes de que, cuando menos, estas prácticas abusivas hacen que los procedimientos diagnósticos, terapéuticos o de rehabilitación no sean efectivos. Si el individuo sigue abusando del equipo, debe notificarse su comportamiento al jefe inmediato.

También se incluye en este grupo de riesgos los creados por el personal médico, enfermeras y paramédicos, y que son los más difíciles de evitar. Es decir, la modificación de equipo y la costumbre de entremezclar el equipo. Esta área puede crear algunos riesgos muy sutiles, que en ocasiones escapan a la percepción del técnico especialista en mantenimiento de equipo biomédico, de manera que no los puede detectar. Este problema se vuelve especialmente crítico en áreas donde se encuentran pacientes susceptibles a la electricidad, donde las microdescargas pueden resultar fatales. El sistema de tierra equipotencial es extremadamente importante en donde existan situaciones de equipos múltiples. Pueden existir otros riesgos, dos piezas de equipo que no sean compatibles, al hacerlas "trabajar" juntas podrían crear un riesgo. Siempre que se "adapte" un equipo, para realizar una función para la cual no fue diseñado originalmente, o es usado con otro equipo para el cual no fue diseñado, deberá ponerse en duda la seguridad del sistema. En la mayoría de los casos usted tendrá que resolver este problema u obtener la solución de una fuente autorizada. Como se menciona en los capítulos V y VIII del texto, muchas de estas "adiciones" no pueden ser identificadas por el técnico o profesional de mantenimiento ya que sólo ocurren cuando el personal médico, enfermeras o paramédicos están realizando sus labores. Recuerde el caso en que el técnico que registra electroencefalogramas pone un ventilador para disminuir el "calor en el cuarto del paciente", etcétera. De nuevo, tendrá que confiarse en la educación. Si puede educar al personal del hospital y hacerlo consciente de la presencia de los riesgos, su tarea se convierte en simplemente corregir las deficiencias o hacer que se corrijan. El aumento de procedimientos tecnológicos para la salud ha llevado a la necesidad de que existan, en las instituciones de salud, ingenieros biomédicos, es decir, personal cuyos conocimientos y capacitación sea en las áreas de ingeniería, pero que tengan suficientes datos relativos al funcionamiento biológico para que además sirva de "interfase" y hagan funcionar eficientemente los dispositivos que complementan, mas no sustituyen

yen los conocimientos del personal médico, de enfermeras y paramédicos.

Deficiencias en el diseño de equipo

Veamos otra fuente de riesgos. Este es el fabricante del equipo. Tenemos muchas piezas de equipo en nuestros hospitales que, por negligencia, diseño ineficiente, manufactura deficiente, aparatos que van a ser sustituidos por el nuevo modelo, etcétera, representan un riesgo eléctrico. Inclusive, sólo por otras razones (principalmente el alto costo de la medicina) se están empezando a revisar muchas técnicas o procedimientos en boga en EE.UU y se encuentra que no han mejorado significativamente la atención de la salud o el tratamiento de enfermedades; además se ha observado que se carece de sistemas de evaluación y en su caso de aprobación de muchas de estas nuevas tecnologías. Usted deberá buscar constantemente los riesgos y eliminarlos desde la misma compra de los aparatos. Algunos ejemplos típicos son: capacitores de filtro conectados directamente de la línea de suministro al chasis. Esto fácilmente puede introducir niveles peligrosos de fuga de corriente, terminales de tierra de alta resistencia, soldaduras realizadas con descuido, etcétera. Un área que ha creado gran preocupación es la falta de estandarización entre los fabricantes, especialmente con respecto a las conexiones de los equipos. Así por ejemplo: el uso del mismo tipo de conector para dos propósitos diferentes en un mismo aparato es práctica común. Un resultado característico de esta práctica es el caso del paciente que, llevado inconsciente a la sala de urgencias, se sometido inmediatamente a un electrocardiograma. Sin embargo, con las presiones del momento, el cable fue conectado a un preamplificador diseñado para ser usado con un transductor de presión. Como consecuencia, el paciente sufrió quemaduras severas en el lugar donde se colocaron los electrodos. Aunque las terminales estaban claramente marcadas; un sistema a prueba de errores, como el uso de terminales no intercambiables, habría sido mucho mejor. De manera que si usted tiene a su cargo equipo de este tipo, ejerza presión sobre sus técnicos para que reconozcan la importancia de verificar el lugar donde se encuentran las terminales.

El análisis previo debe convencerle de que existen riesgos eléctricos en todas las áreas de un hospital y que usted tiene una gran responsabilidad para manejarlos adecuadamente. Usted debe estar alerta

ante los riesgos en el 100% de su tiempo, ya sea cuando realiza mantenimiento preventivo, haga reparaciones, o simplemente esté caminando por el hospital. La otra cara de la moneda en relación con los conectores es que cada compañía usa conectores diferentes para funciones similares, lo cual aumenta la confusión y la necesidad de tener muchos cables que, en cierto momento, pueden conectarse erróneamente a otro aparato con otra función.

Mantenimiento preventivo y de seguridad

Un programa de mantenimiento preventivo agresivo es la mejor forma de evitar los riesgos de descarga eléctrica. Una inspección cuidadosa revelará la mayoría de los riesgos y si usted cuenta con la cooperación de los técnicos su programa de seguridad será efectivo. Pero, además, insistimos en la región latinoamericana esto aumentará la eficacia y eficiencia en la utilización de instrumentos y aparatos en los procedimientos tecnológicos para la salud.

Algunas de las áreas comunes donde debe prestarse especial atención son:

1. **CABLES DE LINEA.** Una inspección visual detectará muchos de los problemas que se presentan en los cables de línea. Revise las condiciones de la cubierta exterior. Si se encuentra dura, quebradiza, o está resquebrajada indica que es demasiado vieja y debe ser remplazada. Si tiene cubierta de tela que está deshilachada, replácela. Si ha sido reparada con cinta adhesiva, replácela. Si no tiene terminal de tierra, replácela, así mismo revise la existencia de varilla de tierra física adecuada. Recuerde que siempre al conectar aparatos eléctricos a un paciente, éste queda incluido dentro de la "malla conductora" de campos eléctricos y electromagnéticos, incluyendo los de altas frecuencias (revise los capítulos correspondientes). Preste particular atención en el punto de salida del instrumento y en el lugar de conexión al enchufe. Estos son puntos de gran esfuerzo y por lo general son los puntos de mayor falla. Asegúrese de que cuenta con un dispositivo liberador de tensión y que éste se encuentre en contacto estrecho con la unidad.
2. **EXTENSIONES.** Siempre dude sobre la necesidad de una extensión. Asegúrese de que puede conducir la corriente requerida. Vea la posibilidad de que se sustituya por un enchufe. Asegúrese de que es un cable de tres conductores.

3. **CLAVIJAS.** Asegúrese de que las clavijas tengan un liberador de tensión y una cubierta sobre las terminales de alambre. El liberador de tensión debe quedar sujeto alrededor del aislante exterior. Si el alambre es demasiado largo para ello, consiga la clavija apropiada. Existe un método eficaz para instalar una clavija, que protege al alambre de tierra del maltrato debido al abuso. Para lograrlo, el alambre de tierra se corta más largo que los alambres conductores de corriente. Si se desconecta la clavija del enchufe, jalando el cable y se rompe un alambre, el alambre roto será uno de los conductores y no el de tierra. Es importante volver a repetir que cuando queda funcionando el cable "vivo", la corriente puede fluir por el paciente o el técnico laboratorista, en cuyo caso al "conectarse" éste a tierra, recibe un buen choque (susto) y una quemadura (revise con cuidado el siguiente capítulo).
4. Asegúrese de que todos los enchufes tengan conexión a tierra.
5. Desaliente y evite el uso de adaptadores o clavijas múltiples.
6. Solicite la ayuda del personal del hospital. Ellos usan el equipo diariamente y pueden detectar al momento las condiciones de inseguridad, en lugar de que usted las encuentre un mes después. Si está usted constantemente consciente de los riesgos, usted detectará las condiciones de inseguridad en un equipo al estarlo reparando. Al mismo tiempo, siempre use los mismos calibres de alambres y fusibles. Usted, menos que nadie, **jamás** deberá crear una condición de riesgo. Evite el uso "definitivo" de alambres que sustituyan fusibles.

Conteste las siguientes preguntas, antes de continuar con el siguiente capítulo.

1. Cualquier enchufe sin conexión a tierra debe notificarse a:

2. Enumere tres razones por las cuales las extensiones deben usarse lo menos posible.
3. El riesgo, causado por el personal, más difícil de identificar y prevenir es debido a _____ y _____.
4. La solución común a todos los riesgos asociados con la electricidad y que son causados por el personal es _____.
5. La mejor forma de evitar todos los tipos de riesgos eléctricos (tanto los causados por el personal como por el equipo) es el desarrollo de un programa de _____ agresivo. ¿Qué procedimientos deben seguirse en un programa de esta índole?
6. Anote y posteriormente busque la información correspondiente a los conceptos, nociones, técnicas que "siente" que le hacen falta. Para beneficio colectivo sugiéralo a los representantes de la OPS.

CAPITULO VII

RIESGOS CAUSADOS POR RADIOFRECUENCIA

El flujo de corriente eléctrica y sus riesgos generalmente se reconocen y comprenden a frecuencias convencionales de 50-60 hertzios. Sin embargo, a medida que la frecuencia del suministro eléctrico aumenta al rango de radiofrecuencia (RF, 100 kHz y más) la corriente eléctrica puede no restringirse a sus vías conductoras normales u obvias. Este hecho no se comprende generalmente, por ello le hemos dedicado un capítulo en este Módulo Especial.

Los hospitales cuentan con equipo que genera frecuencias elevadas, el cual está diseñado para el tratamiento de los pacientes. Sin embargo, las propiedades que hacen útiles a estos equipos también los convierten en riesgos potenciales. El problema inherente son las **QUEMADURAS POR ELECTRICIDAD**, en su mayoría asociadas con las unidades de electrocirugía y las **QUEMADURAS TERMICAS** que se asocian con las unidades de diatermia y de terapia por ultrasonido.

Quemaduras eléctricas

Las unidades de electrocirugía son generadoras de altas frecuencias que utilizan los efectos caloríficos de la corriente de alta frecuencia que se hace pasar a través de los tejidos corporales. Esta corriente puede ser usada para disecar, coagular y cortar tejido. La corriente de frecuencia muy elevada que se produce por la unidad de electrocirugía se aplica al tejido a través de un electrodo activo muy pequeño, el cual concentra la corriente para producir efectos caloríficos rápidos. Mientras más pequeño sea el electrodo mayor será la concentración de corriente y mayor el efecto calorífico. La vía de regreso de la corriente de RF es a través de un elemento de dispersión.

En la mayoría de los procedimientos de electrocirugía, la placa de tierra (electrodo en el paciente) se coloca en la parte baja de los glúteos del paciente, sirviendo así como el electrodo de dispersión. Esto proporciona una superficie grande de contacto entre la piel y la placa de tierra, minimizando así la densidad de corriente, es decir, la corriente por unidad de área de contacto cutáneo.

Las placas de tierra están hechas de plomo o de acero inoxidable. El plomo tiene la capacidad de doblarse y amoldarse a la superficie corporal del paciente, sin embargo, se corroe rápidamente y tiende a la fatiga por el uso repetido, lo cual origina una superficie irregular. Las placas de acero inoxidable son fáciles de limpiar, resisten la corrosión y mantienen su forma a pesar del uso repetido. Sin embargo, la superficie de contacto no es tan grande como la proporcionada por el plomo. No importa qué tipo de placa se use, usted debe asegurarse de que no esté corroída y de que exista una superficie suave de contacto. Corresponde a la enfermera y al personal médico cerciorarse de su correcta colocación. De otra manera, el paciente sufrirá quemaduras debido a la mayor densidad de corriente.

Además de la placa de tierra, el circuito de retorno a tierra debe también estar en buenas condiciones para proporcionar la máxima seguridad al paciente. La corriente de RF va a fluir por cualquier vía accesible. Desde luego, la mayor parte de la corriente va a fluir por la vía de menor impedancia. Es deseable que toda la corriente fluya por la placa de tierra y por el circuito de retorno a tierra. Si el cable de tierra está abierto, la corriente tendrá que encontrar una vía alterna. Esto podría ser el contacto accidental del paciente con la mesa para cirugía o por el contacto de cualquier otro dispositivo conectado a tierra, tales como la terminal de tierra del electrocardiógrafo. Si el área de contacto es pequeña, esta vía alterna, sin lugar a dudas, ocasionará quemaduras al paciente.

Existe otra fuente de riesgo en el punto donde el cable para tierra se conecta a la placa de tierra. Anteriormente se usaban pinzas tipo caimán para hacer la conexión entre el cable y la placa de tierra. Este tipo de conexión puede aflojarse fácilmente, creando así un circuito de tierra abierto. Sin embargo, si esta conexión no está debidamente aislada podría hacer contacto con el paciente y crear un área pequeña de contacto, lo cual originará un punto de alta densidad de corriente. Terminales con este tipo de conexiones se encuentran aún en las unidades más antiguas de electrocirugía. Estas deben ser remplazadas por un alambre conductor a tierra que permita la conexión permanente entre la placa y el alambre a tierra. Ge-

neralmente, esta conexión se efectúa empleando una terminal atornillable, lo cual también permite aislar la terminal del paciente.

Puesto que el circuito a tierra es tan importante para el funcionamiento seguro de la Unidad de Electrocirugía, muchos de los modelos más recientes tienen un circuito de seguridad que controla este aspecto del funcionamiento de la unidad. Este circuito consta, comúnmente, de dos alambres a tierra aislados uno del otro. Los dos alambres hacen contacto eléctrico con tierra. Una pequeña corriente alterna fluye a través de los dos cables siempre que la unidad está funcionando. Si ocurre una abertura, lo cual interrumpe este flujo de corriente, se activa una alarma y se desactiva la unidad de electrocirugía. Debemos percatarnos de que este sistema solamente indica la continuidad del alambre a tierra, es aún posible tener una conexión deficiente entre el paciente y la placa de tierra y que no se active la alarma.

Muchos de los accidentes que ocurren con las unidades de electrocirugía podrían evitarse mediante inspecciones de seguridad rutinarias. Estas inspecciones pueden y deben realizarse durante las visitas programadas de mantenimiento preventivo. Deben revisarse las condiciones de las terminales (tanto el activo como el inactivo), la placa a tierra, así como el circuito de control, si la unidad lo tiene.

Quemaduras Térmicas

Las quemaduras térmicas causadas por generadores de radiofrecuencias, generalmente, se asocian con las unidades de diatermia. Una unidad de diatermia utiliza el efecto calorífico que resulta de una radiación de alta frecuencia a medida que ésta pasa por el tejido corporal. En lugar de concentrar esta energía en un área pequeña, como lo hace la unidad de electrocirugía, se aplica en forma uniforme al tejido bajo tratamiento. **Sin embargo, el calor así generado no debe ser suficiente para producir destrucción del tejido.** Puesto que las unidades de diatermia están diseñadas para producir calor, pueden fácilmente causar quemaduras severas si no son operadas correctamente o si su funcionamiento es defectuoso. Este calor se desarrolla en el interior del tejido, en lugar de en la superficie del mismo. El paciente puede sufrir quemaduras severas antes de que perciba cualquier sensación o molestia. Esto es similar a lo que ocurre con una insolación, cuando uno

se da cuenta de sus efectos, el daño ya está causado. La sobreexposición del paciente puede parecer un error por parte del que maneja el equipo, pero recordemos que el técnico que maneja el equipo se basa en los indicadores y controles de la unidad. Si estos indicadores y controles no están funcionando adecuadamente, no puede esperarse que el técnico proporcione un tratamiento adecuado y seguro. La unidad de diatermia tiene un medidor de salida y un reloj, y ambos deberán revisarse para asegurar su funcionamiento exacto. El medidor de salida es un amperímetro que tiene la escala marcada en porcentaje de potencia. La literatura proporcionada por el fabricante generalmente especifica la cantidad de corriente requerida para una deflexión del total de la escala o el 100% de potencia. La exactitud del reloj puede ser cotejada con un cronómetro.

Otros riesgos causados por radiofrecuencias

La interferencia de alta frecuencia es otra fuente de riesgo creada por los generadores de alta frecuencia. Debido a las propiedades de capacitancia e inductancia de la energía de alta frecuencia, esta energía puede transferirse en ausencia de las vías comunes de flujo de corriente. Por ejemplo, una terminal de una unidad de electrocirugía puede inducir energía en la terminal de un electrocardiógrafo. Esto podría causar una condición de riesgo, para el paciente, así como producir interferencia en la salida del electrocardiógrafo (Revise el apéndice C del capítulo V del texto).

A medida que la frecuencia aumenta dentro del rango de radiofrecuencia, el problema se vuelve más agudo puesto que la energía de RF puede propagarse a través del espacio así como por el tejido corporal y los alambres conductores de electricidad. Esta energía de RF no sólo afectará a las personas en contacto con el equipo, sino también a las personas y el equipo que se encuentran en el área circunvecina y, en ocasiones, puede aun propagarse a otras salas o cuartos.

En las cafeterías, que emplean hornos de microondas, puede encontrarse otro riesgo de RF. Probablemente usted ha visto señales de precaución en estos lugares, especialmente para alertar a aquellas personas que emplean un marcapaso. Se ha encontrado que la energía de RF emitida por estos hornos puede interferir con el funcionamiento del

marcapaso y hacer que el paciente entre en fibrilación.

De este breve capítulo sobre la energía de RF podemos ver que el equipo generador de alta frecuencia tiene sus propios riesgos, además de los otros riesgos asociados a cualquier equipo eléctrico.

Ahora, evalúe los conocimientos adquiridos contestando las siguientes preguntas correspondientes a este capítulo.

1. Los dos problemas inherentes al equipo de RF son las quemaduras _____ y _____.
2. Explique el concepto de densidad de corriente.
3. ¿Cuáles son los tres elementos que debe verificar durante una inspección del electrodo de dispersión en una unidad de electrocirugía?
4. ¿La densidad de corriente debe ser alta o baja? Explique su respuesta.
5. ¿Por qué son más severas las quemaduras causadas por la diatermia que las causadas por electrocirugía?
6. Cuando la energía de RF no está correctamente ajustada puede transmitirse a través del espacio, el tejido corporal y los cables conductores de electricidad.
 - a. VERDADERO
 - b. FALSO
7. Anote sus observaciones o los conceptos o datos que posteriormente le gustaría obtener.

CAPITULO VIII

RECOMENDACIONES GENERALES

Anteriormente se hizo notar que los peligros (riesgos) causados por la electricidad se pueden prevenir usando el sentido común, así como el procedimiento del ABCDE para adquirir conocimientos, habilidades y actitudes que aseguren la correcta aplicación de medidas de seguridad. Los voltajes elevados producen descargas eléctricas mientras que las corrientes elevadas producen quemaduras. El voltaje y la corriente son inseparables en los circuitos eléctricos. Por consiguiente, es imperativo que usted aprenda todas las medidas y precauciones de seguridad establecidas para cada tipo de equipo, ANTES de que intente poner a funcionar el equipo o repararlo. Existen algunas precauciones de orden general que se aplican a todos los tipos de equipo que usted manejará. Estas son:

1. Conviértase en un técnico de un solo brazo. No use ambas manos, a menos que sea absolutamente necesario. Al usar ambas manos se proporciona una vía para el flujo de corriente a través del área vital torácica. Por consiguiente, el usar una sola mano mientras realiza el diagnóstico de fallas limita el área corporal involucrada.
2. Tome siempre la precaución de revisar dónde están los contactos maestros que interrumpen la corriente eléctrica en zonas o cuartos específicos, poniendo particular cuidado en identificar los interruptores del cableado que suministra el voltaje del cuarto en que va usted a trabajar. Revise qué otros materiales o tanques o tuberías existen en el cuarto; por ejemplo, de oxígeno, de gas butano, etcétera.
3. Desconecte el suministro de energía eléctrica. A menos que esté reparando o revisando la maquinaria, desconecte la energía eléctrica. Nunca deje la máquina (motor) encendida mientras está leyendo o estudiando los diagramas esquemáticos o el circuito de alambrado. Si no terminó su trabajo en forma completa y limpia, asegúrese de desconectar la energía eléctrica antes de abandonar el cuarto.
4. No lleve consigo objetos metálicos. Quítese toda la joyería, relojes, alhajas, anillos, brazaletes de identificación, etcétera, mientras esté trabajando en el equipo. Inclusive tenga cuidado con su ropa que cuelga (mangas largas, corbatas, batas amplias) cuando trabaje cerca de motores, poleas, bandas.
5. Ningún técnico debe llegar a trabajar directamente en el equipo, estando mojado por causas ambientales (lluvia). Esencialmente, la mayoría de las personas respondemos igual, estando acalorados, sudamos. La transpiración es un buen conductor de la electricidad por lo que disminuye la impedancia de la piel y dispersa la descarga eléctrica por toda la superficie corporal. Por consiguiente, mantenga su cuerpo lo más seco posible y nunca se pare en el agua o sobre una superficie húmeda mientras esté trabajando con equipo eléctrico.
6. Practique todo el tiempo el ABCDE de aprender. Es posible que para este momento de lectura del Manual, de la adquisición de conocimientos y capacitación en sus actividades haya alcanzado la conclusión de que ese procedimiento es una forma práctica de aplicar el método científico en sus actividades cotidianas. Usted tiene razón, independientemente de los atributos filosóficos del tema.
7. FINALMENTE, SEA CUIDADOSO Y NO TOMES RIESGOS. ASUMA EN FORMA INTEGRAL LA RESPONSABILIDAD DE HACER UN BUEN TRABAJO POR SU SATISFACCIÓN PERSONAL, DE SU FAMILIA Y DE SU SOCIEDAD.

Para terminar sírvase contestar las siguientes preguntas:

1. ¿Qué es lo primero que debe hacer antes de poner a funcionar un equipo?
2. ¿Qué significa ser un técnico de un solo brazo?
3. Haga su lista de qué conocimientos, habilidades y destrezas se prepara usted a seguir adquiriendo.

Índice Analítico

A

ABCDE para aprender, 1

- analizar, 1
- buscar información, 1
- comparar, 1
- describir, 1
- evaluar, 1

Aparato(s)

- conocimientos sobre el aparato, 1
- mantenimiento, 7

Aprendizaje en los seres humanos, 6

- aparatos sensoriales, 6
- ensayo y error, 7
- motivación, 6
- razonamiento, 7
- respuestas correctas, 6

B

Baterías. Véase Celdas

Blindaje(s) 75

- absorción, pérdida, 80
- acoplamiento capacitivo, 75, 82
- acoplamiento magnético, 82
- aplicaciones, 84
- área de la malla, 82
- capacitancia mutua, 76
- capacitancia de modo común, 83
- conexión a tierra "física", 77
- constante de retardo, 83
- corriente de ruido, 76
- delta, δ , 79, 80
- divisor de ganancia, 83
- electrostáticos, 76
- impedancia, 76
- impulsado, 76
- interferencia magnética de bajas frecuencias, 81
- guarda, 75, 83
- guardas impulsadas, 83
- material de blindaje, 79
- metal MU, 81
- potencial de referencia, 77
- propósitos del, 75
- orientación del campo magnético, 82
- rechazo de modo común, 83, 98
- resistencia de fuga, 83

retorno, 78

señal de entrada, 83

voltaje de ruido, 76

voltajes transitorios, 78

C

Capacitores, 21, 41

absorción dieléctrica, 42, 43

aceite, de, 22

aluminio, 21

aplicaciones y características, 29

auto-descarga, 43

capacitancia dispersa, 70

características, 21, 29

categorías, 21

cerámica, de, 22

conformación, 21

curvas de impedancia vs frecuencia, 44

dieléctricos, 2

electrolíticos de aluminio, 21

electrolíticos de tantalio, 21

elementos parasíticos, 43

ensamblado, 44

factor de disipación, 43

funcionamiento, verificación, 21

histéresis, 42

inductancia equivalente en serie, 43

no-polares, 21, 22

polares, 21

cerámica, de, 22

mica, de, 22

papel, de, 22, 30

parasíticos, 43

plásticos, de, 30

reactancia capacitiva total, 44

resistencia de fuga, 43

temperatura, 44

tolerancia, 44

voltaje residual, 42

Características de un buen localizador, 3

buena habilidad manual, 4

comprensión de los principios generales, 4

conocimiento de las fallas, 4

conocimientos de los componentes básicos, 4

conocimientos sobre su propia capacidad, 4

- curiosidad, 4
 - enfoque lógico, 4
 - habilidad para trabajar en conjunto, 4
 - Celdas, 22, 53
 - alcalinas, 57, 58
 - ánodo, 54
 - características de aplicación, 54, 55, 56
 - cátodo, 54
 - de Bióxido de Manganeso-Zinc, 57
 - de Carbono-Zinc, 57, 58
 - de combustible, 53
 - de electrolito sólido, 53
 - de Hierro Níquel, 61
 - de Litio, 60, 62
 - de Níquel-cadmio, 61
 - de Oxido de Mercurio y Zinc, 57, 59
 - de Oxido de Plata, 59,
 - de Oxido de Plata-Cadmio, 60
 - de Oxido de Plata-Zinc, 60
 - de plomo-ácido, 61
 - de reserva, 53
 - descarga profunda, 62
 - duración de vida útil, 61
 - electrolito, 54
 - húmedas, 53
 - pila patrón de fuerza electromotriz, 53
 - primarias, 53, 55
 - oxidación, 53
 - recargables alcalinas, 62
 - reducción, 53
 - secas, 53,
 - secundarias, 53, 61, 63
 - selección, 54
 - Circuitos integrados, 23, 49
 - amplificador operacional, 51
 - convertidor de datos, 51
 - de precisión, 50
 - "dual en línea", 106, 107
 - respuesta transitoria, 51
 - Componentes. Véase
 - Celdas, 22
 - Capacitores, 21, 40
 - Diodos, 22
 - Fusibles, 23
 - Resistores, 19
 - Semiconductores, 22
 - Tarjetas de circuito impreso, 49
 - Transistores, 22, 31
 - Componentes,
 - cortocircuitos, 107
 - descarga, 107
 - instalación de, 125, 128
 - quitar, desmontar, 125, 127
 - requerimientos de montaje, 128
 - sustitución de, 125
 - Componentes pasivos, 40
 - descarga de, 107
 - Corrección de la falla, 11
 - corrija el problema, 12
 - determine la causa, 11
 - pruebe el dispositivo, 12
 - repase todo el proceso, 12
 - Corriente directa, CD, medición, 18
 - Corriente alterna, CA, medición, 18
- D**
- Diagrama(s)
 - bloque funcional, de, 5, 9
 - flujo, de, 4
 - fuerza de poder, 5
 - Dieléctricos, 28
 - Diodos, 22
 - LED, 22
 - rectificadores, 22, 126
 - señales, de, 22
 - Zenner, 22
- E**
- Electricidad, corriente fatal, 121
 - choque eléctrico, 117, 121
 - como trabajar alrededor de equipo eléctrico, 122
 - contracción tetánica, 122
 - efectos fisiopatológicos, 121, 122
 - fibrilación ventricular, 121
 - intensidad de corriente, 121
 - identificación de fuentes de energía, 123
 - masaje cardiaco, 121, 123
 - peligro, bajo voltaje, 122
 - resistencia real del cuerpo, 122
 - respiración artificial, 121, 123
 - rigor mortis**, 123
 - tamaño y extensión de la lesión, 121
 - víctimas, cómo atenderlas, 122
 - Electrocardiografía, 87
 - amplificador, características, 88,
 - amplificador, especificaciones, 98
 - amplificador, frecuencia de respuesta, 99

- amplificadores de amortiguación, 101
- área de la malla, 82, 102
- artefactos de CA, 87
- biopotenciales, registro, 87, 95
- blindajes, circuitos de, 100
- campos de CA, 89
- características del sistema de registro, 95
- catéteres conductivos, 95
- cobija conductiva, 95
- constante de tiempo, 100
- corrientes de desplazamiento, 87, 89, 90, 91, 93, 102
- corrientes de fuga, 95
- conexión a tierra, 96
- cuerpo humano como capacitor, 93
- derivación(es), 90, 95, 98
- efecto divisor de potencial, 97
- electrocardiógrafo MEDI-CEDAT, 90
- entrada aislada, 101
- especificaciones, 96
- fibrilación ventricular, 95
- filtros, 87, 100
- impedancia de entrada, 96, 98
- impedancia, desbalance, 91
- impedancia de los tejidos, 87
- impedancia de los electrodos, 87
- inducción magnética, 89
- interconexión del equipo, 95
- interferencia de 60 Hz, 87
- interferencias aceptables, valores, 88, 90, 94
- Maxwell-Faraday, Ley de, 89
- métodos y cálculos, 87
- monitoreo a control remoto, 96
- normas, 93, 95
- pierna derecha activada, 101
- preamplificadores, 100
- radiotelemedicina, 102
- redes promediadoras (ponderadoras), 98
- registro derivado a tierra, 88
- relación de rechazo de modo común, 98
- técnica de registro rápido del ECG, ejemplo, 101-103
- tolerancias de interfase, 101
- variables, 89
- Equipo(s)
 - de electrodiagnóstico, 73, 95
 - de prueba y mediciones, 13
 - ECG, 87
 - EGG, 94
- Estática, electricidad, 109. Véase Semiconductores
 - almacenado y empaque de partes sensibles, 116
 - banco de trabajo, 116
 - carga capacitiva, 111
 - dispositivos protectores, 114
 - enclavamiento de CMOS, 112
 - entendiendo el proceso, 11
 - humedad, relativa, 112
 - inducción, 111
 - limpieza de cubiertas conductivas, 115
 - manejo y transporte de partes sensibles, 114
 - mitos de la DES, 112
 - prevención de la DES, 114
 - productos para evitar daños por DES, 116
 - reglas para combatir la DES, 114
 - triboelectricidad, 111
- Exactitud y precisión, 14
- F
 - Fusibles, 23, 34
 - capacidad de interrupción, 34
 - capacidad de ruptura, 35
 - características de los fusibles, 35
 - cerámica, de, 35
 - corriente nominal, 37
 - condición de avería, 38
 - curva de tiempo corriente, 37
 - especificación de corriente, 23, 34, 38
 - especificación de cortocircuito, 37
 - especificación de voltaje, 23, 37
 - dimensiones, 36
 - disminución de especificación, 34
 - interruptores de circuitos, 23
 - lentos, 35
 - magnético, 23
 - medianos, 36
 - normas, 38
 - pruebas, 39
 - pulsos, 38
 - rápidos, 36
 - resistencia, 36
 - soldadura, 37
 - temperatura ambiente, 34
 - térmico, 23
 - velocidad, 23
 - vidrio, de, 35

G

Generadores de señales, 18

I

Instrumento(s)

calibración, 16

descripción general, 5

DMM, 17

generadores de señales, 18

osciloscopio, 18

prueba y medición, de, 17

simuladores, 18

VOM, 17

Interferencia y ruido, 65. Véase Electrocardiografía

análisis convencional, 67

área de la malla, 82, 102

campos eléctricos, 67

campos magnéticos, 67

capacitancia dispersa, 70

comprensión, 67

de origen eléctrico, 65

de origen mecánico, 65

diafonía (interferencia cruzada), 71

dispositivos sensibles, 66, 106

ecuaciones de Maxwell, 67

efecto corona, 65

externa, 65

equipo de electrodiagnóstico, 73, 87

forma de onda, 70

frecuencia de 60 Hz, 72, 87

frecuencias bajas, 79

fuelle, 65, 66

inducción capacitiva, 70

inductancia mutua, 68

interna, 65

línea de suministro de energía, 66

malla, área, 72

mecanismo acoplador/captador, 67, 68

principio básico, 68

relación con otras señales, 65

ruido acoplado capacitivamente, 69, 75

ruido acoplado magnéticamente, 69, 71, 79

ruido de roseta de maíz ("popcorn"), 65

ruido intrínseco, 67

ruido por impedancia común, 69

ruido transmitido, 67, 73

soluciones posibles, 74

tasa de repetición, 69

transitorios, 73, 107

transmisiones, AM, FM, RF, CB, 73

voltaje de ruido, 72

Interruptores de circuito, 23

magnético, 23

térmico, 23

L

Localización de fallas

análisis de los síntomas, 7

buenas técnicas de soldadura, 2

circunscribir a un circuito, 3, 11

componente defectuoso, 11,

convergencia, 11

directriz a seguir, 8

divergencia, 11

en microprocesadores, 148

en un medidor de pH, 151

hacer preguntas y encontrar respuestas, 3

identificación de los síntomas, 7

medidas de seguridad, 3

módulo funcional, 3, 7

montaje del dispositivo, 3

objetivo, 1

observación cuidadosa, 2

pasos a seguir en la, 1

registros, guardar, 3

restringida a una función, 9

retroalimentación, 11

técnicas a seguir, 8

use sus sentidos, 8

M

Mediciones, 13. Véase Pruebas y mediciones

calibración de instrumentos, 16

DMM, 17, 18

eléctricas, 16

generadores de señales, 18

osciloscopio, 18

parámetros a medir, 16

parámetros funcionales, 17

parámetros primarios, 17

simuladores, 18

Sistema Internacional de Unidades, 17

VOM, 18

Medidor de pH, localización de fallas, 151

análisis de los síntomas, 151

- anote sus observaciones, 152
 - inestabilidad, 151, 152
 - LCD, 152, 153
 - libro de datos, 152
 - limpieza, 152
 - recalibración, 153
 - reparación, 153
 - sección de lectura, 152
 - sin manual ni diagramas, 151
 - Microprocesadores, 147
 - conocimientos de programación, 148
 - circuitos digitales, 148
 - estrategias de reparación,
 - funciones del microprocesador, 148
 - lenguaje de nivel superior, 148
 - localización de fallas, 148
 - memoria (RAM, ROM, EPROM), 148
 - relojes multifásicos, 148
 - técnicas digitales, 148
 - tendencias futuras del uso de microprocesadores, 148
- O**
- Objetivos de la localización de averías, 1
- P**
- Potenciómetros, 25, 45, 49
 - ajustables, 49
 - Problemas, 105
 - área mecánica, 105
 - área eléctrica, 106
 - circuitos integrados, "dual-en-línea", 106, 107
 - cómo evitarlos, 105
 - conexiones del equipo y mesa de trabajo, 106
 - cortocircuitos, 107
 - desarmadores, 105
 - "dip", uso de, 107
 - dispositivos sensibles, 106
 - estática, 106. Véase Semiconductores. Estática
 - limpieza, 105
 - "patitas" (terminales), manejo de, 106
 - pinzas, 105
 - tarjetas de extensión, 107
 - tipos de herramientas, 105
 - transitorios, 107
 - Pruebas y mediciones, equipo, 13
 - características de un instrumento de medición, 14
 - dispersión, 15
 - equipo, de, 13
 - errores o problemas, 13
 - errores aleatorios, 13
 - errores sistemáticos, 13
 - estabilidad, 16
 - estrategias, 10
 - exactitud y precisión, 14, 15
 - factor humano, 13
 - factores, que intervienen, 13
 - instrumento usado, 14
 - laboratorio de metrología, 14, 126
 - legibilidad, 15
 - local y medio ambiente, 13
 - magnitudes medibles, 14
 - medición eléctrica, 16
 - método de entrada a salida, 10
 - método de salida a entrada, 10
 - método de dividir a la mitad, 10
 - principios básicos, 13
 - resolución, 16
 - reproducibilidad, 16
 - sensibilidad, 15
 - técnica de medición, 14
 - valor promedio, 15
- Q**
- Q, factor de calidad, 44
- R**
- Rectificador controlado de silicio, 31
 - apagado-encendido, tiempo, 32
 - apagado, tiempo de, 32
 - caída máxima de voltaje, 31
 - corriente máxima permisible en sentido inverso, 31
 - corriente de fuga reversible, 31
 - corriente mínima de CD, 31
 - frecuencia mínima de elevación de voltaje, 32
 - máxima frecuencia de elevación de corriente, 31
 - pico máximo de corriente, 31
 - Referencias, 52, 86, 103, 147, 150
 - libros, 147
 - hojas de datos, 147
 - instructivos, 147
 - manuales, 147
 - Reparación, técnicas de, 125
 - entrega de equipo reparado, 125
 - fallas menores, 125

innovaciones, 125
 instalación del componente, 125
 mantenimiento preventivo, 125
 microprocesadores, 148-149
 quitar componentes, 125, 127
 remplazo de partes o refacciones, 125
 sustitución de componentes, 126
Reparación, tarjetas de circuito impreso, 127
 adición de nuevos componentes, 129
 alcohol, agua y aceite de contacto, 139
 cortocircuitos, 107
 daño en las terminales, 129
 desmontar un componente, 125, 127
 formación de terminales, 129
 instalación de componentes, 128
 limpieza del conector del borde, 141
 limpieza de las tarjetas de CI, 136, 138, 139
 métodos estandarizados, 127
 montaje de componentes, 128
 pistas levantadas, 132, 136
 pistas y plaquitas ("islas"), 136, 137
 proceso de soldadura, 130
 remoción de la soldadura de resina, 138, 141
 reparación con puentes de alambre, 136
Resistencia(s) ver Resistores
 de fuga, 83
 en serie equivalente, 41
Resistores, 19, 45
 alambre enrollado, de, 20
 fijos, 20
 variables, 16, 19, 62
 carbón, de, 20, 24
 circuito abierto, 20
 coeficiente de temperatura, 19, 46
 distribución de la resistencia, 19
 efectos termoelectricos, 47
 envejecimiento, 48
 especificación de potencia, 19, 20
 especificación de voltaje, 19
 fallas, 20, 48
 índice de ruido, 48
 linealidad, 19
 parasíticos, 47
 película metálica, 20
 potenciómetros, guía de aplicación, 25, 45, 49
 ruido elevado, 20, 48
 ruido térmico, de Johnson, 48
 tolerancia, inicial, 19, 45
 turbulencia térmica, 48

Resumen del proceso de localización de fallas, 149
Riesgos, 117
 biológicos, 119
 choque eléctrico, 117. Véase Electricidad, corriente fatal,
 centrífugas, 119
 cilindros de gas comprimido, 118
 contracciones musculares, 117
 estimulación de nervios sensoriales, 117
 de origen eléctrico, 117
 de origen mecánico, 118
 herramientas eléctricas, 118
 lesiones traumáticas, 117
 levantamiento de equipo, 118
 luz infrarroja, 119
 luz ultravioleta, 119
 por radiación, 118
 quemaduras, 117, 119
 radiación ionizantes, 118
 radiación no ionizantes, 117
 rayos X
 reacción de sobresalto, 117
 sangre, 119-120
Ruido, ver Interferencia y ruido

S

Semiconductores, 33
 almacén y transporte de, 110
 control de entrada, 33
 descarga electrostática (DES)
 electricidad estática y, 109
 espuma antiestática, uso de, 110
 parámetros básicos, 33
 pérdidas, 33
 pérdidas económicas por DES, 110
 programas de control de estática, 110
 otras especificaciones, 33
 sobrecarga, 33
Seguridad, medidas de, 117, ver Riesgos, Módulo Especial
 choque eléctrico, cómo evitarlo, 117, 122
 localizador de fallas, para el, 117
 paciente, del, 120
 ser técnico de un solo brazo, 117
 tercer cable o cable "de tierra", 118
 usuario, del, 120
 uso de ropa de protección, 118
Sistema tecnológico, 2
 instrumento, 2

medio ambiente, 2
 problema a resolver, 2
 usuario, 2
Soldadura, 130
 cantidad de soldadura, 131
 daño por calor, 131
 en tarjetas de circuito impreso, 130
 pasta (fundente), 135
 pasta base de resina, 135
 pasta tipo R, 135
 pasta tipo-RMA, 135
 pasta tipo-RA
 principios básicos, 134
 selección de la pasta, 135
 soldar terminal, 107
 remoción de la soldadura de resina, 138
 temperatura, 134
 unión del ojillo a la soldadura, 132
 unión de soldadura terminada, 130
 unión entre plaquita y base terminal, 130

T

Tarjetas de circuito impreso, 49. Véase Reparación de
 absorción dieléctrica, 49, 50
 blindaje, 50
 capacitancia parásita, 51
 daños por DES, 101

A

Accidentes, 157
 cómo se producen, 159
 agente, 159
 anfitrión, 159
 factor humano, 159
 ingeniería de seguridad, 159
 medio, 159
 características de personalidad, 159
Aire comprimido, 172
 lentes de protección, 172
Ambiente seguro para el paciente, 157
Ambiente mecánico, 163
 alambres, cables, 164
 baleros, ejes, ruedas y rolletes, 163
 cables y pesas, 164
 limitador eléctrico, 166

efectos de la humedad, prueba, 49
 efectos dinámicos, 50
 efectos estáticos, 49
 efecto "hook", 49
 higroscopía, 49
 lavado, 50
 nodos, 49
 reparación, 127
 respuesta transitoria, 51
 vías de fuga, 49, 50

Transistores, 22, 31

apagado-encendido, tiempo de, 33
 corriente de base, 33
 corriente del colector, 32
 corriente de fuga del colector al emisor, 32
 parámetros básicos, 33
 parámetro híbrido, 33
 resistencia térmica máxima permisible, 31
 SCR, 31
 selección (sustitución), 31
 SOA, 33
 temperatura de unión máxima permisible, 31
 temperatura de la envoltura máxima permisible, 31
 voltaje del colector al emisor, 32
 voltaje de saturación del colector-emisor, 32
 voltaje de saturación en la base-emisor, 32

MODULO ESPECIAL

limitadores de presión y válvulas de seguridad, 163, 166
 limitadores mecánicos, 166
 limitador de presión, 166
 limpieza del equipo, 163
 lubricación de los cables, 165
 reguladores, 166
 reposición de cables, alambres, 165
 seguros y limitadores, 166
 sistemas de contrapeso, 163, 164
 solidez estructural, 163

B

Baleros, 163

C

Cables de línea, 181
 Cables de acero, 164

desgaste, 164-165
 lubricación, 165
 remplazo de, 165
 Clavijas, 182

D

Diseño de equipo, deficiencias, 181

E

Electricidad, seguridad, 179
 adaptadores, 182
 cable de tierra, 179
 cables de línea, 181
 cinta adhesiva, abuso, 180
 clavijas, 182
 conexiones con trampas, 179
 deficiencias en el diseño, 181
 enchufes, 180
 extensiones, 179, 181
 maltrato de cables, 179
 mantenimiento preventivo y de seguridad, 181
 microdescargas, 180
 programas de educación, 179
 técnicas abusivas, 180
 uso de terminales no intercambiables, 181
 Equipo, rayos X, 164

G

Gases, 169
 aire comprimido, 172
 almacenamiento, 171
 anestésicos, 169
 calor, 169
 combustible, 169
 combustión, 169
 comprimidos, manejo de, 171
 esterilización con, 170
 éter, 170
 fugas, 170
 inflamables, 169
 manejo de cilindros vacíos, 172
 nitrógeno, 170
 no explosivos, 169
 no inflamables, 169
 no inflamables, comburentes, 169, 170
 oxígeno, 169, 170
 óxido de etileno, 170
 óxido nitroso, 170

reglas para manejo de cilindros con gases, 171
 reglas para poner en servicio un cilindro, 172
 relación específica oxígeno-gas, 169
 sistema de aire/gas comprimido, 169
 sistemas de gas comprimido, 169
 temperatura de almacenamiento, 171
 triángulo del fuego, 169
 tóxicos, 169, 170

I

Instalación de equipo, 160

M

Mantenimiento preventivo y de seguridad, 181

P

Pacientes, susceptibilidad, 160
 protección contra radiaciones, 177
 Personal del hospital, 160
 Profesionalismo, 158
 Programa educacional de seguridad, 159
 Preguntas, 158, 160, 161, 166, 167, 173, 177, 178,
 182, 185, 186

R

Radiación(es), 175
 blindaje, plomo, 176
 cromosomas, mutaciones, 175
 control del personal, 177
 de fuga, 176
 detección, 177
 dispersa, 176
 distancia, 176
 efectos biológicos, 175
 errática, 176
 espectro electromagnético, 175
 exposición corporal total, 175
 exposición no-ocupacional, 176
 exposición ocupacional, 175
 lineamientos, cantidad máxima permisible, 175
 métodos de protección, 176
 protección de los pacientes, 177
 rayos X, 175
 rayos gamma, 175
 reglas para su uso, 176
 regulaciones sobre seguridad, 175
 uso bajo condiciones controladas, 175
 Radiofrecuencia, 183

calibración del equipo, 184
circuito de retorno, 183
circuito de seguridad, 184
densidad de corriente, 183
elemento de dispersión, 183
frecuencias de 50-60 Hz, 183
frecuencias elevadas, 183
hornos de microondas, 184
inspecciones de seguridad, 184
otros riesgos, 184
quemaduras por electricidad, 183
quemaduras térmicas, 183, 184
unidades de diatermia, 183

unidades de ultrasonido, 183
vías conductoras normales, 183
Rayos X, equipo, 164
Recomendaciones generales, 185
Responsabilidad, 157
Riesgos, 157

S

Seguridad en el trabajo, 155

T

Tecnologías avanzadas, 157, 180

I II III IV V VI VII VIII IX X XI XII ■ ■ 88 89 90 91 92

La impresión de la obra se realizó en los talleres de **Litográfica MAC, S.A. de C.V.**
Ave. Joyas 2939 Col. Tres Estrellas 07920 México, D.F. Tel. 781-5824

1 1.5 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 15 20 25 30 ■

PXT 13
ISBN 92 7571023 6



Organización Panamericana de la Salud