



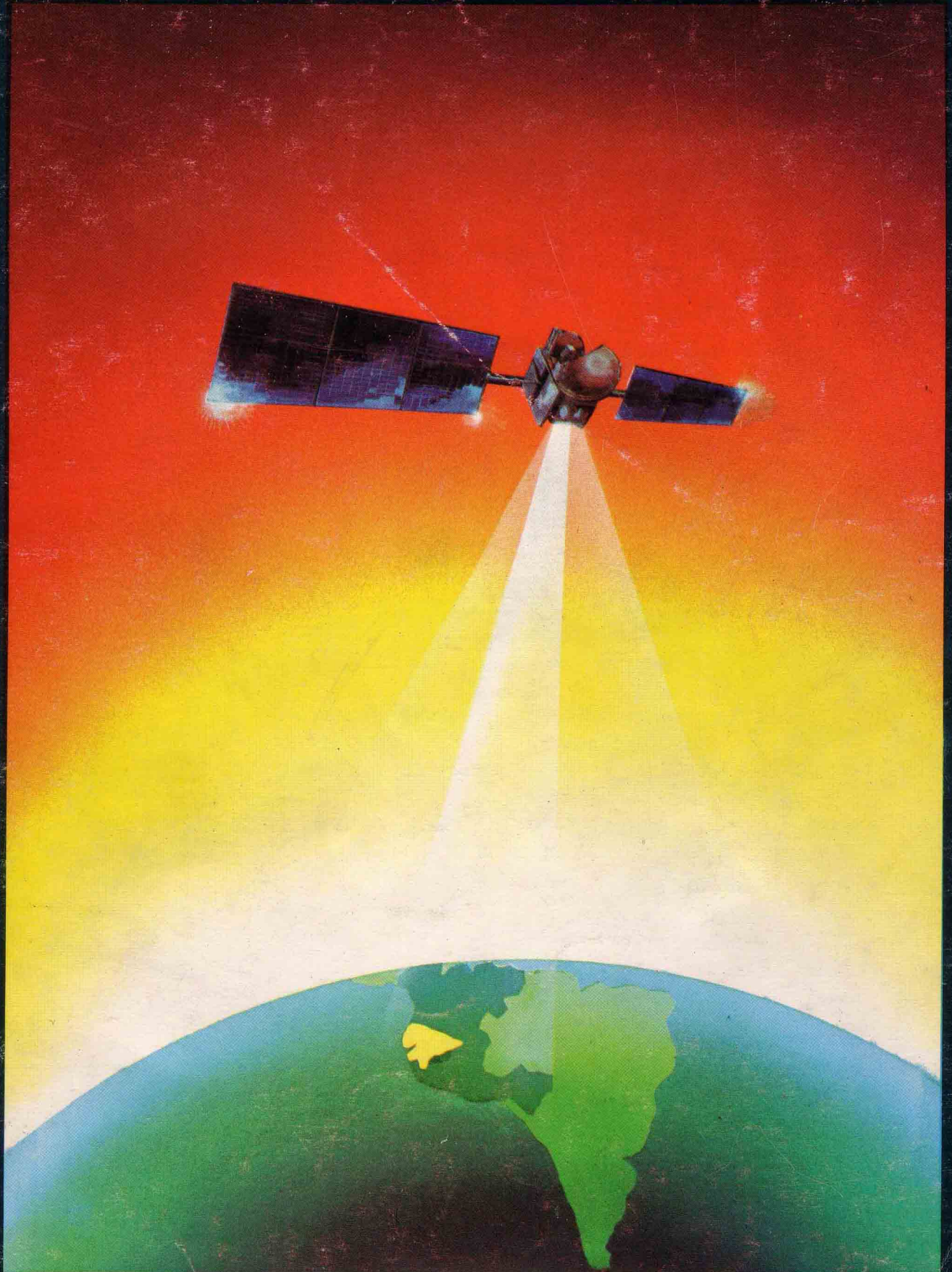
ANALES DE LAS JORNADAS EN INGENIERIA ELECTRICA Y ELECTRONICA



E
S
C
U
E
L
A

P
O
L
I
T
E
C
N
I
C
A

N
A
C
I
O
N
A
L



Facultad de Ingeniería Eléctrica
Julio 3 4 y 5 de 1991

**JORNADAS EN INGENIERIA
ELECTRICA Y ELECTRONICA**

JULIO DE 1991

VOL. No. 12

C O N T E N I D O

EDITORIAL 1

CONTROL

Control multivariable en tiempo real. CESAR SARMIENTO BRAVO y PATRICIO BURBANO ROMERO 3

Sistema experto para control de procesos. RAFAEL FIERRO 10

Control adaptivo en tiempo real. GERMANICO PINTO y PATRICIO BURBANO 20

CIRCUITOS ANALOGICOS Y DÍGITALES

Regulador de voltaje ac, intercambiador electrónico de taps con micro controlador. BOLIVAR LEDESMA y CARLOS COKA. 27

La fuente de iones del SSC. BRUCE HOENEISEN 34

Diseño y construcción de unidades remotas (rtu) de bajo costo para sistemas de control, supervisión y adquisición de datos (SCADA). LUIS MONTALVO 44

ELECTROMEDICINA

Protección contra accidentes eléctricos en ambientes hospitalarios. MIGUEL YAPUR. 55

FISICA

Materia oscura y la formación de galaxias. BRUCE HOENEISEN 62

Relativistic dynamics and electromagnetic field WSEWOLOD WARZANSKYJ POLISCUK 69

MATERIALES Y COMPONENTES

Degradación de los varistores de óxido de cinc. JULIO MONTENEGRO y JORGE RAMIREZ 79

PROCESAMIENTO DE SEÑALES Y DATOS

Estudio del sistema de adquisición de datos Keithley 500A y aplicaciones. FAUSTO VASCO MONCAYO y PATRICIO BURBANO. 83

Adquisición de datos para el proyecto reconocimiento de fonemas por computador. TANIA PEREZ y GUALBERTO HIDALGO ... 94

Algoritmo para la segmentación automática de la palabra hablada. GUALBERTO HIDALGO y TANIA PEREZ 98

Un algoritmo para detectar periodicidad sin prefiltrado. GUALBERTO HIDALGO y TANIA PEREZ 105

SISTEMAS ELECTRICOS DE POTENCIA

Cartografía y base de datos para la actualización y operación del sistema de distribución. FERNANDO MANCERO 116

Amortiguación de vibraciones cólicas en líneas de transmisión aéreas. JULIO MONTENEGRO y RAMON VILLASANA 122

Software de supervisión y control para el sistema nacional interconectado. BOLIVAR PALAN, ROBERTH CARDENAS, DANILO ESPIN, MARCO GARCIA, MONICA SANCHEZ y ESTEBAN VEGA. 129

Motores de Inducción lineales y su aplicación en prototipos de Sistemas de tracción. OSVALDO OJEDA R, WILFREDO ZIEHLMANN O. y JUAN ZOLEZZI C. 136

Estudio comparativo de dos levitadores electromagnéticos. CARLOS ARENAS O., OSVALDO OJEDA R., WILFREDO ZIEHLMANN O., y JUAN ZOLEZZI C. 140

TELECOMUNICACIONES

Código de detección de errores por chequeo redundante cíclico (CRC). ALICIA MEDINA y LUIS MONTALVO 144

PROTECCION CONTRA ACCIDENTES ELECTRICOS
EN AMBIENTES HOSPITALARIOS

YAPUR, MIGUEL ING.

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

RESUMEN

A pesar de que se han escrito varios artículos sobre este tema, y de que se lo menciona en forma seguida últimamente, y siendo un tópico de bastante actualidad debido al continuo cuestionamiento sobre la mala práctica médica, es de interés para todos los profesionales que trabajan en el área hospitalaria conocer los peligros que representa dar un mal uso a los equipos médicos cuando se pasa por alto una serie de procedimientos y técnicas concernientes a la seguridad eléctrica de los pacientes.

El presente artículo está basado en el seminario que cada año el autor ofrece a todos los profesionales que trabajan en ambientes hospitalarios, sean estos ingenieros, médicos, paramédicos ó tecnólogos. El tema es abordado con la debida profundidad y trata de disipar todas las dudas que surgen cuando se habla sobre conceptos y técnicas de protección eléctrica en los hospitales.

ABSTRACT

This paper is based on the contents of the short course that the author offers every year to the professionals that work in the medical environments of hospitals, like engineers, technicians, physicians and nurses.

The goal of this paper is to help dissipate all possible doubts about electrical safety in hospitals.

INTRODUCCION

No causa sorpresa revisar estadísticas y conocer que el número de accidentes eléctricos ha ido en aumento debido a la proliferación de equipos eléctricos para la industria y el hogar. Esto no sería trascendente si no se tomase en cuenta el gran desarrollo que ha experimentado la instrumentación electrónica para la práctica médica en los últimos veinte años.

Hasta los primeros años de la década de los sesenta los equipos eléctricos utilizados en los hospitales y clínicas se limitaban a los dispositivos tales como máquinas de succión, esterilizadores, vaporizadores, etc. Con el advenimiento de la era espacial y el despe-

que de la tecnología electrónica, la miniaturización y la computación fueron genialmente acopladas a la medicina y se dió paso al fortalecimiento de la Ingeniería Biomédica. Sin embargo, debido a que muchos de estos equipos son conectados a los pacientes y en algunos casos se reducen las defensas naturales del cuerpo, dichos dispositivos son diseñados para que cumplan un mínimo de seguridad eléctrica. Pero, cuando una falla ocurre, ó la seguridad no es la adecuada, ó el equipo no es utilizado en forma apropiada éste se convierte en un peligro potencial ya sea para el paciente ó para el médico y el personal paramédico.

El presente artículo sintetiza conceptos básicos, explica la interacción entre el cuerpo humano y la electricidad, muestra los métodos de protección contra accidentes eléctricos en ambientes hospitalarios, y da algunas ideas sobre la importancia del mantenimiento preventivo en los equipos utilizados en las áreas de cuidados especiales.

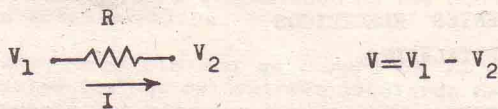
EL CUERPO HUMANO Y LA ELECTRICIDAD

Conceptos Básicos.

Los accidentes eléctricos ocurren cuando una corriente eléctrica de suficiente magnitud fluye a través de los tejidos del cuerpo humano.

A menudo se lee en la prensa sobre personas que se electrocutan al tocar cables energizados; de esto se puede concluir que el ser humano tiene una resistencia eléctrica finita; o sea, nuestro cuerpo puede ser un conductor de corriente eléctrica.

Si se considera al cuerpo humano como un conductor de corriente eléctrica, éste estará regido por la ley de Ohm, la cual dice que al conectar los dos extremos de un material cuya resistencia eléctrica es finita a diferentes potenciales eléctricos, fluirá una corriente eléctrica a través de dicho material. En el caso de las personas, el material de resistencia finita es el propio cuerpo humano. Ver Fig. 1.



$$V = R \times I$$

Fig. 1.- Ley de Ohm.

Cuando esta situación ocurre, el cuerpo humano va a estar sujeto a una circunstancia peligrosa ya que no se sabe cual es el valor de corriente que está fluyendo a través de él. Por tal motivo es de principal interés conocer la cantidad de corriente que pasa a través de órganos sensibles a la electricidad, como es el caso del corazón humano. El valor de la corriente que fluye por la persona depende de 2 factores:

- 1.-La resistencia de la piel.
- 2.-El valor del voltaje aplicado.

De acuerdo a lo explicado hasta este punto, es muy importante recalcar que la corriente eléctrica es más peligrosa que el voltaje.

Efectos Fisiológicos de la Corriente.

La corriente eléctrica que pasa a través del cuerpo puede causar quemaduras, reacciones musculares involuntarias, parálisis ó fibrilación ventricular. Una de las razones por las que la electricidad puede producir semejantes efectos en el cuerpo humano es de que el cuerpo es un sistema electro-químico, el cual genera numerosos potenciales y corrientes en el proceso de su normal funcionamiento.

Las células del cuerpo humano están rodeadas por un fluido intersticial cuyo contenido es casi 60% agua. En el agua existen impurezas que se presentan como iones, los cuales son los que se encargan de conducir la corriente eléctrica desde el punto de mayor potencial hacia el menor.

Todas las células del cuerpo humano presentan una diferencia de potencial (voltaje) entre el interior de ellas y el fluido intersticial que las rodea, cuyo valor es alrededor de 90 mV, negativo con respecto al fluido. Este es llamado el potencial de reposo. La excitación de las células musculares y nerviosas está íntimamente ligada con esta diferencia de potencial. Cuando una célula se excita, su diferencia de potencial con respecto al fluido externo cambia a un valor promedio de 20 mV positivo. Este es llamado el potencial de acción. A manera de ejemplo, el electrocardiograma y el electroencefalograma recogen las variaciones de estos potenciales en la superficie del cuerpo y tienen validez médica para el diagnóstico de enfermedades. Esto nos indica que los potenciales generados en cualquier órgano del cuerpo son transmitidos a través de todo el cuerpo mediante las propias células y en base a la excitación que ellas mismas presentan. Cuando una célula es estimulada por un impulso eléctrico, ésta a su vez estimulará a las células que la rodean.

Debido a que el cuerpo humano depende de los potenciales eléctricos para funcionar, si un potencial externo es aplicado al cuerpo, la actividad normal de las células es alterada.

Tenemos el caso del sistema nervioso, que opera en base a la transmisión de corrientes iónicas; si un estímulo externo es aplicado, dicho sistema funcionará en forma errática. Se pueden alterar tanto el sistema sensor así como el motriz. Este es el caso típico que se manifiesta cuando una persona se queda "pegada" al cable de corriente. También tenemos el caso del corazón, el cual es un órgano que opera sobre bases de continuo estímulo, y cualquier cambio del balance eléctrico originado por una corriente externa puede ser fatal. Cuando esto sucede se puede originar una "fibrilación ventricular".

Macroshock y Microshock.

Para que un accidente eléctrico ocurra deben cumplirse simultáneamente dos acciones:

- 1.-La existencia de 2 contactos provistos por el cuerpo.
- 2.-La presencia de la diferencia de potenciales entre dichos contactos.

Se define entonces como **MACROSHOCK** al efecto que produce una corriente que entra y sale por el cuerpo a través de la superficie de la piel. Por el contrario, la definición de **MICROSHOCK** se refiere al efecto que produce una corriente en el corazón cuando uno de los contactos es la superficie de la piel y el otro es directamente el corazón ó sus vecindades.

En ambos casos es importante describir el concepto de "densidad de corriente", o sea corriente por unidad de superficie. Su efecto se lo comprende mejor tomando como ejemplo el principio de operación del electrobisturí. Debido al pequeño tamaño del bisturí, la piel es ya sea cortada ó los vasos sanguíneos coagulados; mientras que la placa de retorno, como es de gran área, es inofensiva. La alta frecuencia de las corrientes eléctricas que genera el electrobisturí (radiofrecuencia) no produce alteración de las funciones celulares, sino la destrucción de ellas por calentamiento.

El valor de la frecuencia de la corriente alterna es muy significativo, ya que se ha comprobado que valores menores de 10 Hz y mayores de 300 Hz no afectan a las funciones celulares. De esta última expresión se puede deducir que la corriente continua es menos peligrosa que la alterna, aunque es la más probable para producir quemaduras ya que origina un proceso de electrólisis sobre las células.

La tabla 1 mostrada a continuación enlista los efectos fisiológicos de la corriente eléctrica alterna de 60 Hz aplicada durante 1 segundo a un adulto, a través de la piel, entre la mano y la pierna. (Macroshock).

rara que se produzca una situación de Microshock, utilizando electrodos de 0.25 mm de diámetro, se experimentó con adultos y se encontró que aplicando corrientes de hasta 35 μ A durante 1 segundo se producía fibrilación ventricular.

TABLA 1

Nivel de Corriente	Efecto Fisiológico
1 mA	-Mínimo nivel de percepción. Sensación de hormigueo.
5 mA	-Por convención, máximo flujo de corriente por la piel sin producir daños.
15 mA	-Puede causar inmovilidad debido a la contracción de los músculos flexores.
25 mA	-La parte en contacto con la entrada de corriente se paraliza.
35 mA	-Se siente un dolor intenso y es posible que ocurra daño muscular.
50 mA	-La respiración se dificulta y se puede paralizar; puede ocurrir un desmayo.
100 mA	-Posible fibrilación ventricular.
200 mA	-Fibrilación ventricular segura.
400 mA	-Posible paro cardíaco, pero el corazón puede recuperar su ritmo normal si la corriente es retirada a tiempo.
1 A	-Dependiendo de la densidad de corriente pueden ocurrir quemaduras.
2 A	-Se producen daños irreparables en el tejido.
4 A	-Se producen quemaduras profundas en el tejido.

IMPORTANCIA DE LA LINEA DE TIERRA

Distribución de la Energía Eléctrica.

En los ambientes hospitalarios la energía eléctrica es necesaria no solamente para operar los equipos médicos, sino también para la iluminación, para operar los artefactos de limpieza, artefactos de uso de los pacientes (como radios, televisores, etc.), y además relojes de pared, botones de llamada a enfermeras y una serie de dispositivos eléctricos. Un primer paso para proveer una seguridad eléctrica está basado en el control a los cables de energía eléctrica y de tierra en el ambiente de los pacientes. Un sistema de distribución simple se lo observa en la Fig. 2.

Tomacorrientes.

Para que la corriente fluya deben existir 2 niveles de voltaje diferentes; usualmente el nivel bajo se lo conecta a una varilla enterrada aproximadamente 1 metro bajo el nivel de la superficie terrestre (he ahí el porqué del nombre "tierra"). Esto se lo hace junto al transformador de distribución eléctrica, ya sea para el sector ó para el hospital.

Este cable es el retorno para la alimentación de 110 voltios, tal como se lo observa en la misma Fig. 2.

El retorno se lo conecta a tierra ya que los potenciales eléctricos deben estar referenciados a un punto que no cambie su neutralidad, y como la tierra es un conductor inmenso tiene la capacidad de liberar ó recibir electrones sin cambiar su neutralidad. La tierra es usada como referencia en todas las discusiones; cuando hablamos de 110 voltios estamos tomando como referencia a la tierra; ó sea, los 110 voltios son con respecto a 0 voltios.

El sistema de 2 cables es satisfactorio hasta cierto límite; si ocurre algún cortocir-

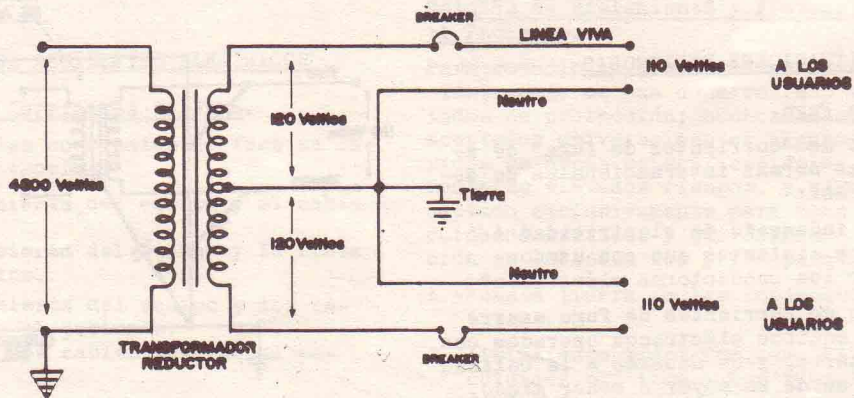


Fig. 2.- Sistema de Distribución Simple.

cuito entre el cable de 110 voltios y la cubierta metálica de algún equipo, nadie se va a dar cuenta; el equipo seguirá operando en forma normal hasta que una persona toque dicha cubierta energizada con una mano, y con otra parte de su cuerpo esté haciendo tierra haciendo que fluya una corriente eléctrica a través de su cuerpo, desde la cubierta metálica hacia tierra. Se ilustra este caso en la Fig. 3. La solución a este problema es la adición de un tercer cable para conectar la cubierta metálica del equipo (o el chasis) a tierra.

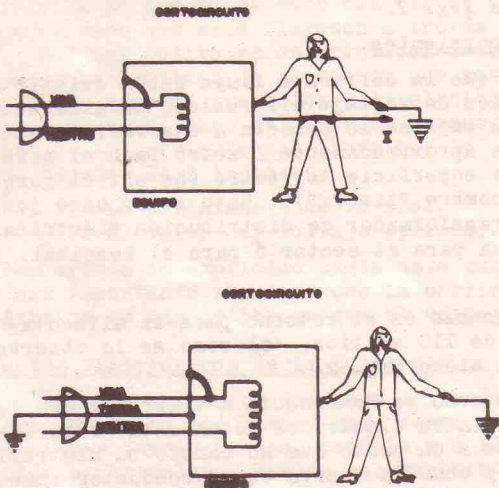


Fig. 3.- Caso de cortocircuito entre la cubierta de un equipo y la línea viva, cuando no hay conexión a tierra y cuando sí la hay.

En la Fig. 4 se observan los 2 tipos de tomacorrientes utilizados para 110 voltios, y la convención utilizada para la identificación de sus terminales y del color de los cables.

SITUACIONES PELIGROSAS

Corrientes de Fuga.

La definición de "corrientes de fuga" de acuerdo con las normas internacionales de seguridad dice así:

"Es un flujo indeseado de electricidad a través de los aislantes que son usados para separar los conductores eléctricos"

Este fenómeno de corrientes de fuga ocurre en todos los equipos eléctricos operados con corriente alterna, y de acuerdo a la calidad del aislante se da en mayor ó menor grado. No sucede en los equipos operados a batería. Se producen por capacitancias parásitas entre el cable de alimentación y el cable del neutro ó el de tierra ó la cubierta del equipo ó el chasis. Se da este fenómeno ya que la resistencia de los aislantes nunca es infinita. De esta manera, algo de la cantidad de corriente que ingresa por el cable de

110 voltios se va a tierra y es una corriente de fuga. Ver Fig. 5.

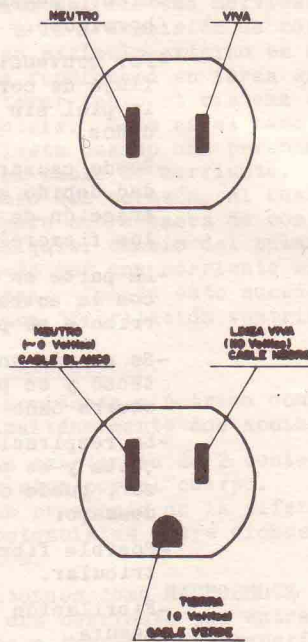


Fig. 4.- Tomacorrientes utilizados para alimentación de 110 voltios.

Las 2 fuentes de corrientes de fuga mas comunes en los equipos médicos son la cubierta y los cables conectados al paciente.

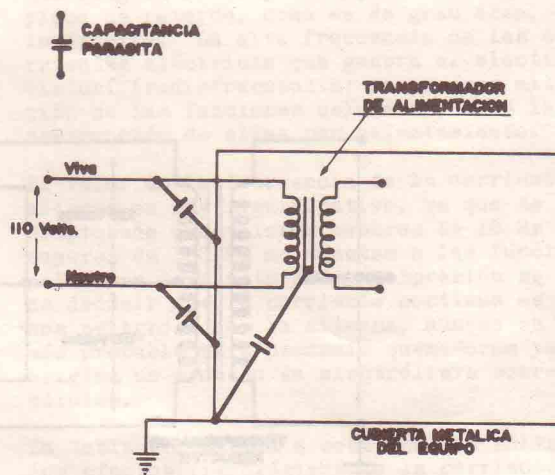


Fig. 5.- Capacitancias Parásitas y el Camino que presentan a las Corrientes de Fuga.

La Línea de Tierra Abierta.

Los cables de energía están sujetos a continuos abusos y son a menudo los responsables de muchos problemas. Si el cable de 110 v. se rompe el equipo no funcionará. Si por el contrario, éste se cortocircuita con el neutro ó con la tierra, el breaker se disparará inmediatamente. Si el cable de tierra se abre, entonces sí existirá un peligro latente ya que nadie lo advertirá.

En este último caso, las corrientes de fuga que normalmente deberían fluir a tierra, lo harán pero a través del paciente si tiene conectado algún instrumento a su cuerpo y al mismo tiempo y en forma accidental toca la cubierta de un equipo cuyo cable de tierra está abierto.

El Ambiente Eléctrico del Paciente.

En las áreas de cuidados críticos los artefactos eléctricos con 2 cables de alimentación (línea y neutro) presentan un peligro especial. Este caso se da con las lámparas, radios, etc. El contacto del paciente con la cubierta metálica de uno de ellos y con algún punto conectado a tierra será condición suficiente para provocar un accidente eléctrico.

Equipos Conectados al Paciente.

Cuando un paciente se encuentra en una Unidad de Cuidados Intensivos (ICU), puede tener conectados a su cuerpo 2 o mas equipos, para poder monitorear sus signos vitales. Como medida de protección, todos los equipos que se conectan a los pacientes tienen sus cubiertas metálicas y chasis conectados a tierra; la cama eléctrica también tiene conexión a tierra. Si todos los equipos no están conectados al mismo punto de tierra, sino que cada equipo tiene su propio circuito de conexión a tierra, el peligro estará presente ya que las diferentes cubiertas van a estar referenciadas a distintas tierras, y si el paciente en forma involuntaria toca 2 cubiertas al mismo tiempo se producirá un accidente eléctrico.

PREVENCIÓN DE ACCIDENTES ELÉCTRICOS

Medición de las Corrientes de Fuga.

La medición de las corrientes de fuga se la realiza en 4 categorías:

- Entre la cubierta del equipo y el cable de tierra.
- Entre la cubierta del equipo y la línea de 110 voltios.
- Entre la cubierta del equipo y los cables que van al paciente.
- Entre todos los cables que van al paciente.

La tabla 2 mostrada a continuación enlista los límites de corriente de fuga para los equipos médicos.

TABLA 2

Equipos Médicos	Corrientes de Fuga	
	Chassis	Electrodo
a) No conectados a pacientes:	500 uA	-----
b) Conectados a pacientes:	100 uA	50 uA
c) Conectados a pacientes pero con electrodos aislados:	100 uA	10 uA

Revisión de los Tomacorrientes.

Se debe medir la polaridad de los tomacorrientes; la inversión entre línea y neutro es peligrosa. Se debe verificar que cada tomacorriente esté conectado a tierra. Se debe comprobar que las tierras de 2 tomacorrientes contiguos se encuentren al mismo potencial. Los voltajes máximos permitidos entre 2 tomacorrientes contiguos en la vecindad de un paciente se especifican como se detalla a continuación:

- Areas de Cuidado General: 500 mV
- Areas de Cuidado Crítico: 100 mV

En ambos casos se los especifica bajo condiciones normales de operación.

Sistema Equipotencial de Tierra.

En algunos casos las técnicas de economía de construcción en las instalaciones eléctricas dictaminan que los tomacorrientes de una pared que divide 2 ambientes deben compartir la misma alimentación eléctrica, lo cual como ya fue visto representa un peligro. Las técnicas de seguridad eléctrica exigen que todos los tomacorrientes de un mismo ambiente estén referenciados a la misma tierra pero independiente de los otros ambientes contiguos. De esta forma se construye una configuración llamada "copo de nieve", y se evitan los lazos de tierra. La configuración copo de nieve se la observa en la Fig. 6.

Métodos de Aislamiento y Protección para el Paciente.

Para reducir la probabilidad de accidentes eléctricos, se han desarrollado varios métodos de protección; muchos de ellos son ya aceptados universalmente; algunos son requeridos en áreas específicas donde pueden presentarse elevados riesgos, y otros se han adaptado exclusivamente para usos en áreas de cuidados críticos y quirófanos. A continuación se enlistan los principales:

- 1.-Puesta tierra de las instalaciones eléctricas.-
- 2.-Aislamiento eléctrico.-En las áreas de cuidados críticos y quirófanos, la presencia de artefactos eléctricos de 2 hilos representa un peligro, motivo por el cual se prohíbe el uso de ellos.
- 3.-Aislamiento de las partes conectadas al paciente.-En los equipos modernos, donde se conectan partes a los pacientes (como monitores de ECG, de presión, etc.),

se está utilizando el criterio de diseño basado en el aislamiento de los cables que van al paciente con relación al cable de tierra. Los diseños incluyen modulación por amplitud, acoplamiento por luz infraroja y por transformador.

- 4.-Doble aislamiento.-La cubierta metálica de los equipos médicos viene recubierta con plástico para evitar situaciones peligrosas.
- 5.-Protección por bajo voltaje.-Si la fuente de voltaje fuera pequeña, en casos de falla la resistencia del cuerpo sería lo suficientemente alta para limitar la corriente que podría circular por el cuerpo humano a un valor seguro. Se utilizan ya sea transformadores reductores ó baterías.

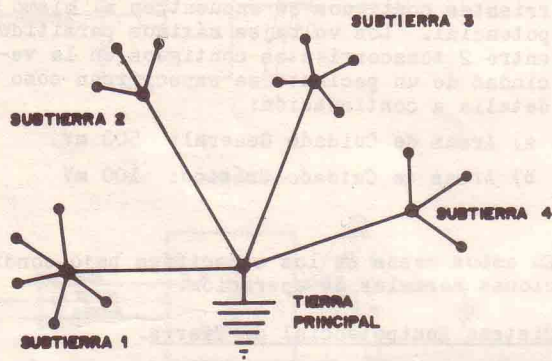


Fig. 6.- Configuración "Copo de Nieve" para las conexiones de tierra.

Sistemas de Alimentación Aislados.

En las áreas críticas, aún cuando se instale un buen sistema de tierra separado para cada paciente, no se pueden prevenir posibles situaciones peligrosas que pueden resultar de fallas a tierra. Una falla a tierra es un cortocircuito entre la línea viva y la línea de tierra, por donde circulan corrientes de gran valor hacia tierra. Aunque este tipo de accidentes es raro, el breaker cortaría inmediatamente el paso de la corriente.

Para reducir la posibilidad de algún peligro en una área crítica, especialmente en quirófanos y en terapia intensiva, se conecta un transformador de aislamiento para que alimente a un tomacorriente determinado. De esta forma se elimina la referencia a tierra para que el equipo que se alimenta de este tomacorriente. Para comprender su construcción se lo puede visualizar en la Fig. 7.

Lo importante de este sistema es que no hay voltaje entre cualquiera de las 2 líneas del secundario y la línea de tierra. Esto representa una medida importante de protección para el paciente; por ejemplo, si la cama eléctrica estuviera aterrizada y el paciente toca la parte metálica de la cama y en ese momento se rompe la línea de tierra de la cama, y al mismo tiempo toca en forma involuntaria cualquiera de los 2 cables del secundario del transformador de aislamiento, debido a que no se cierra el circuito, no hay posibilidad de que le suceda un accidente eléctrico al paciente.

Todo transformador de aislamiento va acompañado de un detector de falla a tierra, para detectar la pérdida de aislamiento en los devanados del transformador. Este detector compara los valores de las corrientes que viajan por los 2 cables del secundario; en el momento en que la diferencia es mayor de 3 mA, automáticamente desconecta la alimentación y enciende una alarma sonora y visual para indicar que existe pérdida de aislamiento.

AREAS DE CUIDADOS ESPECIALES

Unidades de Cuidados Intensivos.

Las unidades de cuidados intensivos, mejor conocidas como ICUs, son áreas donde se encuentran pacientes en estado crítico y deben permanecer bajo un cuidado continuo. También existen las unidades de cuidados coronarios (CCUs) y las salas de emergencia. En todas estas áreas se deben aplicar los mismos procedimientos de aislamiento, ya que es en estas áreas donde existe una proliferación de equipos electrónicos para diagnóstico. Las gelatinas electrolíticas usadas en esta área reducen la resistencia eléctrica de la piel y dejan a los pacientes expuestos a cualquier situación de peligro. Para conseguir una buena seguridad eléctrica, se usa

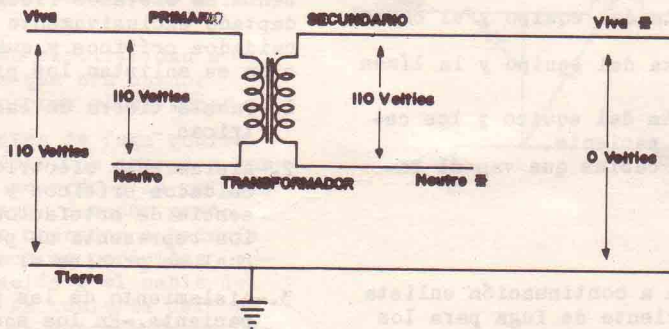


Fig. 7.- Sistema de Alimentación Aislado.

el sistema de tierra equipotencial ya descrito anteriormente, al igual que los sistemas de alimentación aislados; así mismo, los otros puntos explicados también son recomendados.

Quirófanos.

El quirófano ó cuarto de cirugía debe tener un cableado especial, ya que en algunas veces se emplean anestésicos inflamables, y si la concentración es suficientemente alta una pequeña chispa puede inflamar tales anestésicos.

Los equipos deben estar perfectamente aterrizados para evitar problemas de accidentes eléctricos. Debe también cumplirse con los métodos de protección explicados en párrafos anteriores.

Para evitar la posibilidad de que se produzcan chispas que puedan originar explosiones ó afectar a los pacientes que se encuentran totalmente desprotegidos, se siguen las normas que se detallan a continuación:

- a) Se debe regular la humedad del paciente a un 50% constante en todo momento para evitar que la piel se encuentre sudada.
- b) Se debe proveer una trayectoria de descarga para que las cargas presentes en el cuerpo semihúmedo lo abandonen. Esto se consigue usando un piso conductivo y exigiendo a todo el personal de cirugía que use zapatos conductivos. Normalmente, un piso de baldosas y encerado presenta una resistencia eléctrica alta (aislante); sin embargo, los pisos de los quirófanos deben ser contruidos con una malla metálica como base, y cubiertos con pedazos de carbón, para presentar una baja resistencia. Así, el piso actúa como un descargador continuo y se evita la acumulación de cargas en el paciente.

Sistemas Eléctricos de Emergencia.

La seguridad eléctrica en un sentido amplio involucra algo más que los accidentes eléctricos. Por ejemplo, la rotura de un cable de electrodos en un monitor de ECG es peligrosa, ya que puede confundir al personal médico ó paramédico en el cuidado de un paciente en estado crítico.

También tenemos el caso de las variaciones de voltaje de la línea de alimentación, las cuales pueden producir lecturas erróneas en los instrumentos de medición de parámetros fisiológicos, como en el caso de los monitores de respiración/apnea en los infantes. La interferencia eléctrica puede alterar las lecturas de los cardiostacómetros.

La situación más crítica se dá cuando ocurre un apagón y la energía eléctrica se va. El artículo 517 del NEC especifica que se debe contar con un sistema eléctrico de emergencia en todo hospital, el cual deberá entrar a funcionar en un tiempo menor a los 10 segundos después de la interrupción. Este debe ser un sistema que conste de 2 partes; la primera para que alimente el alumbrado del hospital y algunos tomacorrientes, y la segunda para que alimente los tomacorrientes de las áreas críticas.

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo tratado en este artículo, la importancia de la línea de tierra es fundamental. Así mismo, los sistemas de alimentación aislados son necesarios en los lugares críticos.

Se garantiza una seguridad eléctrica efectiva en los ambientes hospitalarios cuando además de utilizar los sistemas equipotenciales de tierra, los sistemas de alimentación aislados y todos los métodos de protección descritos, se implementa y se practica un plan de mantenimiento preventivo tanto de las instalaciones eléctricas como de los equipos electrónicos que se conectan a los pacientes. Este plan de mantenimiento preventivo debe ser realizado con una periodicidad adecuada, tomando en cuenta las recomendaciones que las firmas fabricantes de los equipos médicos y las asociaciones norteamericanas pertinentes emiten.

Así mismo, y con el propósito de mantener la seguridad eléctrica, se debe preservar y respetar el plan de mantenimiento preventivo; además de exigirse el fiel cumplimiento de este plan por parte del personal técnico, se debe también exigir al personal médico y paramédico que colaboren con las normas impuestas por cada hospital, para de esta manera evitar la posibilidad de que ocurran accidentes eléctricos.

REFERENCIAS

- (1) Bronzino, Joseph D., "Biomedical Engineering and Instrumentation", PWS Engineering, Boston, 1986.
- (2) Cromwell, Leslie y otros, "Biomedical Instrumentation and Measurements", Prentice Hall, N.J., 1980.
- (3) Feinberg, Barry N., "Handbook of Clinical Engineering", CRC Press, v.1, 1980.
- (4) Von Maltzahn, Wolf y Yapur, Miguel, "Medical Electronics", ESPOL, Gquil., 1987.



YAPUR, Miguel Ing.: Nació en Guayaquil en Septiembre 1 de 1957. Se graduó de Ingeniero Electrónico en la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en 1983. En 1986 recibió el título de Master en Ciencias de la Ingeniería Biomédica, después de estudiar en la Universidad de Texas en Arlington (UTA) y en el Centro de Ciencias de la Salud de la Universidad de Texas en Dallas (UTHSCD) conjuntamente. En 1987 obtuvo el Certificado de Ingeniero Clínico luego de realizar cursos especiales en UTA y de trabajar como interno en el Departamento de Ingeniería Clínica del Hospital Harris Metodista de Fort Worth. Desde 1983 trabaja como profesor de la Facultad de Ingeniería en Electricidad de la ESPOL, y desde 1987 está dedicado a preparar ingenieros electrónicos especializados en Electrónica Médica. En 1989 fue galardonado por la Cámara Junior como Joven Profesional Sobresaliente por su contribución al Desarrollo Científico y Tecnológico del país. Es miembro del IEEE, de la BMES y del CRIEEL.