



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

ASOCIACION DE ESTUDIANTES DE INGENIERIA ELECTRICA

SEGURIDAD ELECTRICA EN CLINICAS Y HOSPITALES

ING. MIGUEL YAPUR AUAD

GUAYAQUIL - ECUADOR
1984

SEGURIDAD ELECTRICA EN CLINICAS Y HOSPITALES

ING. MIGUEL YAPUR AUAD

CONTENIDO.

Introducción.

1.-El cuerpo humano y la electricidad.

1.a.-Efectos fisiológicos de la corriente eléctrica.

1.b.-Mecanismos de protección natural contra la electricidad.

1.c.-Peligrosidad de las corrientes eléctricas.

2.-Importancia de la línea de tierra.

2.a.-Tomacorrientes.

2.b.-Diseños de equipos electromédicos para diagnóstico.

3.-Situaciones peligrosas.

3.a.-Corrientes de fuga.

3.b.-La línea de tierra abierta.

3.c.-Equipos conectados al paciente.

4.-Prevención de accidentes.

4.a.-Medición de las corrientes de fuga.

4.b.-Sistema equipotencial de tierra.

4.c.-Métodos de aislamiento y protección para el paciente.

5.-Áreas de interés.

5.a.-Unidades de cuidados intensivos.

5.b.-Quirófanos.

Bibliografía.

La corriente que fluye a través de un órgano, determinará si su acción normal retornará después que la corriente se quite, o si ocurre algún daño. Es por éste que se dice que la corriente mata, no el voltaje, ya que las células en el cuerpo están rodeadas de un fluido intersticial cuyo contenido es 50% de agua, y las impurezas del agua conducen electricidad, por lo que la corriente sigue la trayectoria desde el punto de mayor voltaje hacia el menor.

1.b) Mecanismos de protección natural contra la Electricidad.-

La piel seca limita el flujo de corriente a través del cuerpo, hasta niveles de seguridad; el retiro natural a un estímulo, limita la duración del impacto eléctrico a un brevísimo período de tiempo, pero si la corriente estimula los músculos flexores, puede ser imposible despegarse de la fuente. En cualquier caso, la aplicación de corriente a la superficie del cuerpo, usualmente resulta en una distribución de esa corriente de tal forma que solo una pequeña fracción de ella, pasa por el miocardio.

Los procedimientos médicos, a menudo violan las normas de seguridad. En los quirófanos, la ropa del paciente es frecuentemente remojada con sangre o solución salina. En el ICU, la resistencia de la piel del paciente es deliberadamente reducida con el gel para electrodos. Un paciente anestesiado no puede reaccionar a sensaciones de dolor o retirarse de la fuente de corriente.

En el monitoreo cardíaco, se aplican electrodos en las vecindades del corazón, de tal forma que corrientes de falla pueden fluir y arribar al miocardio con alta densidad. Los marcapasos tienen conductores que están en contacto directo con el corazón del paciente. La cateterización cardíaca a pesar que se realiza con catéteres no conductivos, puede en el uso ser ocupado por dispositivos conductores, ya sea termistores, alambres guías o tomas para angiografía.

1.c) Peligrosidad de las corrientes Eléctricas.-

Las fuentes de corriente eléctrica, peligrosas son numerosas, y puede ir desde la mas sencilla como el contacto directo con

INTRODUCCION:

En tiempos pasados cuando en los hospitales y clínicas no había gran uso de equipos eléctricos y peer electrónicos, la seguridad eléctrica era ignorada. Hoy en día, la proliferación tecnológica ha hecho que la seguridad eléctrica tenga una importante consideración en dichos lugares.

Un instrumento biomédico es diseñado para que cumpla el mínimo de seguridad requerida. Cuando una falla ocurre y la seguridad no es la adecuada, el equipo se convierte en un peligro tanto para el paciente como para el médico y el personal paramédico.

El propósito de este trabajo, es sintetizar conceptos, explicar los mecanismos y consecuencias y dar ideas sobre técnicas usadas y sobre mantenimiento preventivo y correctivo de las seguridades eléctricas, tanto en los quirófanos como en las unidades de cuidados intensivos (ICU).

1.-EL CUERPO HUMANO Y LA ELECTRICIDAD.

1.a) Efectos fisiológicos de la Corriente Eléctrica.-

Los accidentes eléctricos son causados por la interacción de la corriente eléctrica con los tejidos del cuerpo. Para que un accidente ocurra, una corriente de suficiente magnitud debe fluir a través del cuerpo de la víctima, pudiendo dañar el funcionamiento de algún órgano vital.

A menudo se lee en el periódico sobre personas que se electrocutan, de donde podemos concluir que el ser humano tiene una resistencia finita (no es un aislante), y como tal puede ser un conductor para el flujo de electrones; algunas veces la cantidad de corriente puede ser suficiente para matarlo, y éste se agrava mas si la resistencia de la persona es disminuída ya sea por la humedad o por la condición fisiológica de la persona.

3

un conductor vive hasta el contacto con un dispositivo que opera con energía de la línea, el cual puede ser una fuente de corriente si es que existe una conexión entre la fuente de energía del equipo y su cubierta (cortocircuito), y la persona toca dicha cubierta.

Para que una fuente de corriente sea peligrosa, depende de:

- Magnitud de la corriente disponible.
- Intimidad del contacto entre la fuente con el individuo, y de éste con tierra.
- Condiciones físicas del individuo.

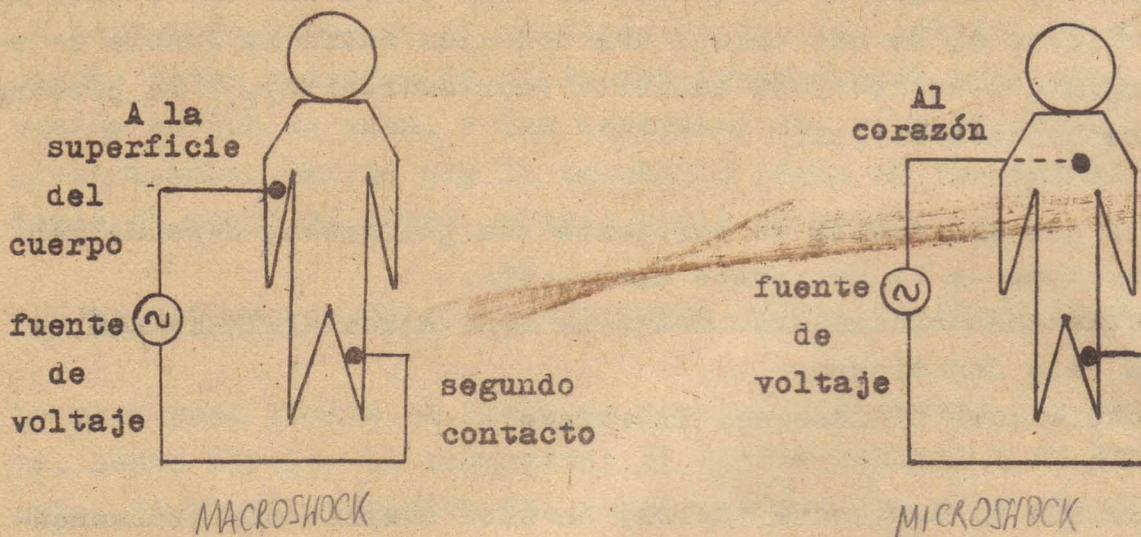
Para que un accidente ocurra, se debe cumplir simultáneamente las siguientes acciones:

- La existencia de dos contactos provistos por el cuerpo humano.
- La fuente de voltaje que lleva la corriente hacia esos contactos. Ver fig. 1.

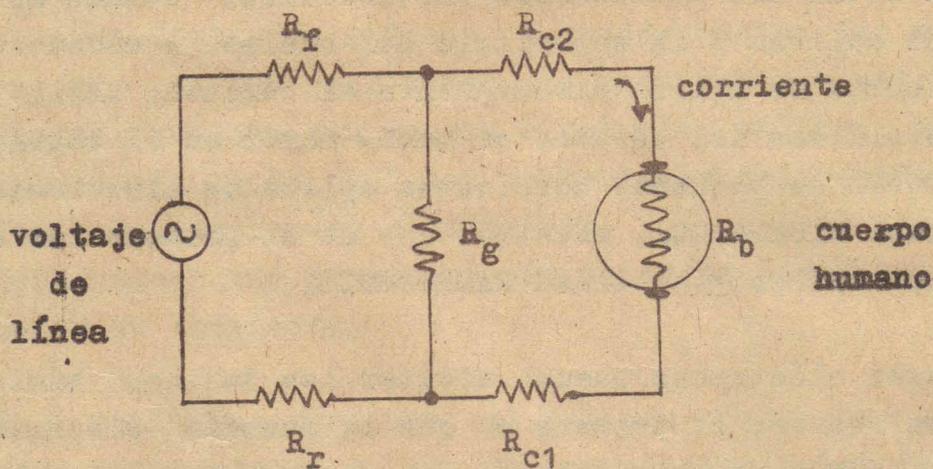
Expliquemos estas dos situaciones particulares. Cuando ambos contactos se aplican a la superficie del cuerpo, y cuando uno de los contactos se aplica directamente al corazón; debido a que la sensibilidad del corazón es mucho mayor en el segundo caso, el efecto de pequeñas corrientes aplicadas directamente a él, se llama **MICROSHOCK**, mientras que en el primero las corrientes son mayores y se llama **MACROSHOCK**.

Las corrientes eléctricas pueden afectar los tejidos, básicamente en dos formas; la primera en que la energía eléctrica disipada en la resistencia del tejido, puede incrementar la temperatura, y pueden ocurrir quemaduras; sin embargo este principio se lo usa en electrocirugía, donde una corriente concentrada producida desde un generador de RF, con frecuencias de entre 2.5 a 4 MHz, se usa para cortar los tejidos o para coagular pequeños vasos sangrantes.

La segunda en que una corriente eléctrica de suficiente magnitud, puede producir voltajes locales que disparan potenciales de acción y estimulan los nervios. Cuando los nervios se estimulan de esta forma, la corriente eléctrica produce una sensación de hormigueo, la cual a una intensidad suficiente puede ser dolorosa; la estimulación del nervio motor



A.-El accidente eléctrico.



- R_f = Resistor de falla.
- R_r = Resistor de retorno.
- R_b = Resistencia del cuerpo humano.
- R_{c1} y R_{c2} = Resistencia de contacto.

B.-Circuito Equivalente.

Figura 1.-Formas de Accidente Eléctrico.

o de los músculos, hace que las fibras musculares se contraigan; a mayor excitación externa, mayor contracción muscular. También puede ocurrir una parálisis respiratoria, si los músculos del tórax son afectados por una corriente eléctrica que fluye por el pecho; tal corriente puede afectar también al corazón por su localización vecina.

La tabla 1, nos muestra los niveles de corriente y su efecto en un adulto normal; para el caso de corrientes externas, se toma el caso de que con una mano se toca un cable electrificado y sus pies desnudas sobre la tierra, completan el circuito. Estos datos aparecen en la revista SPECTRUM del IEEE de Febrero de 1972.

TABLA 1

A.-Corrientes Externas -60 Hz.- aplicadas por 1 segundo.

<u>Rango de Corriente</u>	<u>Efecto</u>
1 mA.	-El mínimo nivel de percepción. Sensación de hormigueo.
5 mA.	-Corriente eléctrica aceptada por convención como el máximo flujo a través de la piel.
16 mA.	-Puede causar inmovilidad debido a la contracción de los músculos flexores.
(20-50) mA.	-Dolor intenso; puede ocurrir desmayo y posiblemente un daño muscular. Las funciones respiratorias y cardiovasculares siguen normales.
(100 mA- 3 A).	-Ocurre la fibrilación ventricular y puede ocurrir una parálisis respiratoria.
(6-12) A.	-El corazón queda contraído, pero puede recuperar su ritmo normal si la corriente es quitada a tiempo; pueden ocurrir quemaduras si la densidad de corriente es alta

en el lugar de aplicación.

B.-Corrientes Internas -60 Hz.- aplicadas por 1 segundo directamente al corazón.

(20-800) μ A.

-Fibrilación ventricular en los perros (usando catéteres).

(150 μ A - 1.5 mA)

-Fibrilación ventricular en humanos, usando electrodos de 0.25 cm. de diámetro.

Con respecto a la tabla, se puede añadir que el valor adoptado como de seguridad en los hospitales de U.S.A. en la aplicación de corrientes internas, es de 10 μ A.

Podemos también acotar que se ha encontrado que la frecuencia a la cual el corazón es más sensible, es 60 Hz. Cuando la piel está seca, la resistencia del cuerpo humano es alrededor de 100 $K\Omega$, pero cuando está húmeda, baja hasta 1 $K\Omega$; tomemos un ejemplo con ambos casos, considerando como la fuente de corriente, la línea de 110 Voltios:

a) $I=V/R = 110 \text{ V} / 100 \text{ K}\Omega = 1.1 \text{ mA}$. (estamos en el rango de seguridad).

b) $I=V/R = 110 \text{ V} / 1 \text{ K}\Omega = 110 \text{ mA}$. (este valor es fatal).

Con respecto a la corriente directa, podemos decir que puede causar daños aún en pequeñas amplitudes, sin embargo el mínimo de corriente dc, necesario para producir fibrilación ventricular, es algo mayor que para la corriente ac. La corriente dc puede causar quemaduras, ya que origina un proceso de electrólisis sobre las células.

2.-IMPORTANCIA DE LA LINEA DE TIERRA.

2.a) Tomacorrientes.-

Para que la corriente eléctrica fluya, deben haber dos niveles de voltaje diferentes; usualmente el nivel bajo se le coloca en 0 voltios, y se le llama "tierra", ya que la tierra tiene la capacidad de liberar electrones sin cambiar su neu-

tralidad, por lo tanto la tierra se la usa como referencia en todas las discusiones; cuando hablamos de 110 voltios, estamos tomando como referencia la tierra, o sea los 110 voltios es con respecto a 0 voltios.

En edificios altos, no podemos hablar de una buena tierra, porque el cable que llega de la tierra es muy largo y tiene una cierta resistencia. Ver fig. 2.

Si varios cables en un cuarto, vienen desde diferentes localidades, entonces la tierra en un punto no puede ser igual a la tierra de otro punto. En la figura 2, vemos que el tomacorriente A, no puede desarrollar ningún voltaje en la línea de tierra porque ese cable de tierra tiene resistencia 0; sin embargo en el tomacorriente B, se inducen voltajes externos debido a que presenta una cierta resistencia. La solución para éste, es colocar todas las tierras juntas en el mismo cuarto, y así cualquier voltaje que aparezca en la línea de tierra, será distribuido equitativamente en todos los puntos de tierra.

La empresa eléctrica suministra 2 cables: uno que lleva los 110 voltios, y el otro que está conectado a tierra en el transformador de distribución. Ver fig. 3.

El sistema de 2 cables es satisfactorio hasta cierto límite; si ocurre algún cortocircuito entre los 110 voltios y la cubierta metálica del equipo, éste sigue operando normalmente, pero si una persona se conecta entre la cubierta metálica y algún punto de tierra, la corriente va a fluir por dicha persona a tierra. Ver fig. 4. La solución a este problema, es la adición de un tercer cable para conectar la cubierta metálica del equipo a tierra.

2.b) Diseños de Equipos Electromédicos para Diagnóstico.-

En esta sección vamos a ver como ha evolucionado el cambio de diseño en esta clase de equipos médicos, de una manera general, pero principalmente en los últimos años.

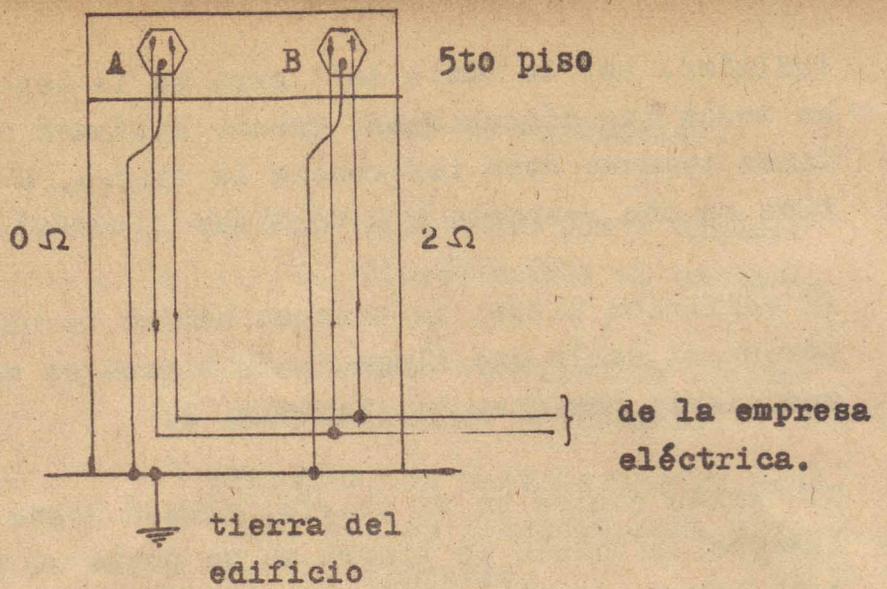
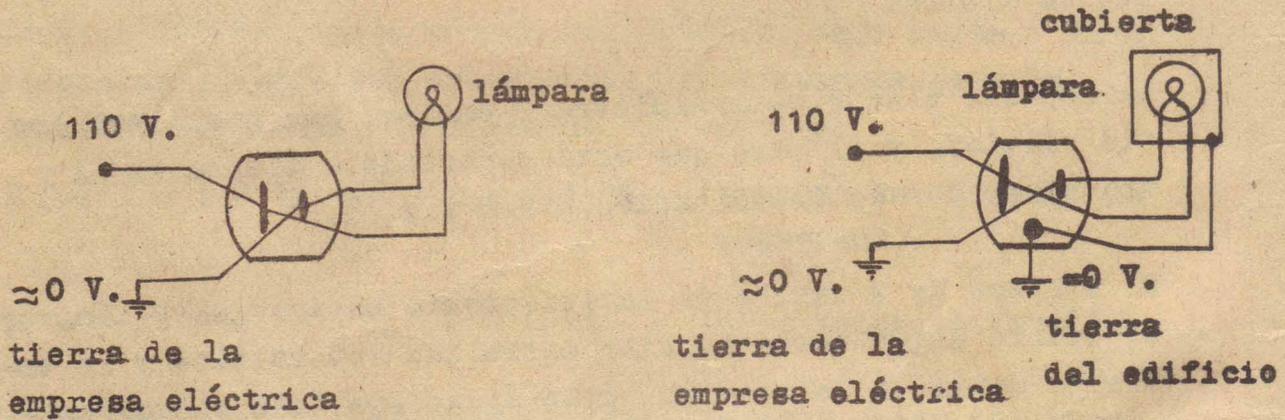
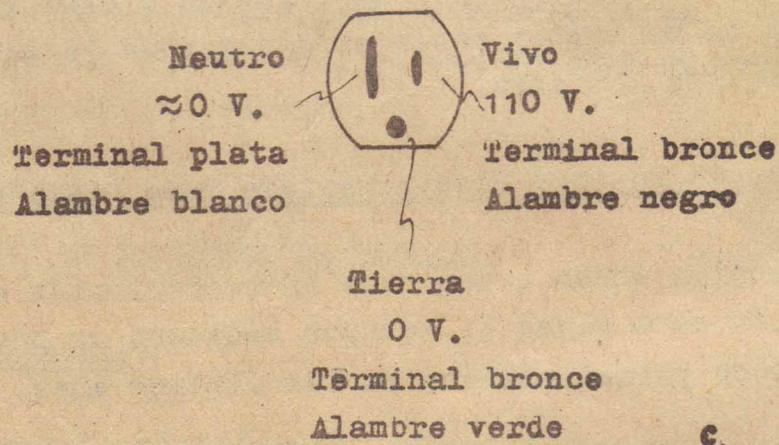


Fig. 2 ...-Línea de tierra en un edificio alto.



A.

B.



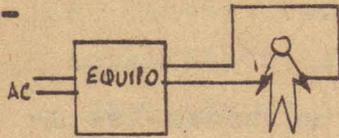
C.

Fig. 3.- Tipos de tomacorrientes

Diseño

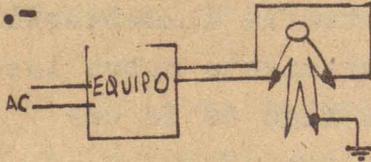
Comentarios

1.-



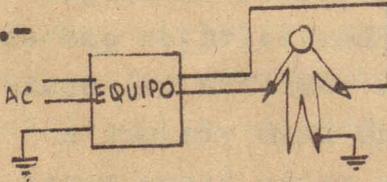
-No hay corrientes de fuga, ya que el paciente no está puesto a tierra; sin embargo el cuerpo actúa como una antena y produce interferencias.

2.-



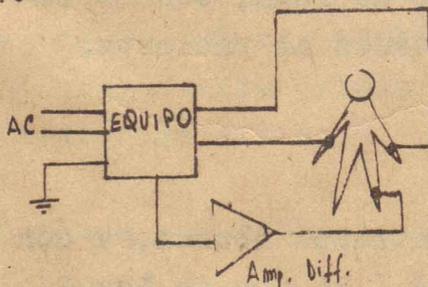
-El paciente está puesto a tierra; se elimina la interferencia pero hay corrientes de fuga a través del paciente y tenemos un voltaje de modo común pequeño.

3.-



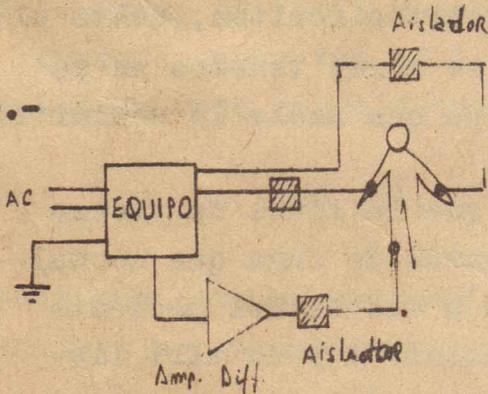
-Poniendo a tierra el instrumento, se elimina la corriente de fuga por el paciente, pero en caso de falla, regresamos al caso anterior.

4.-



-Usando el amplificador diferencial, eliminamos el efecto de antena, del paciente sin tierra, pero en caso de falla, pueden fluir corrientes muy altas por el paciente, y si se coloca otro instrumento al paciente, existirán corrientes de fuga elevadas a través de él.

5.-



-En caso de falla o pérdida de tierra, sólo circulan pequeñísimas corrientes por el paciente, y éste no tiene que estar aterrizado. Este es el método óptimo.

3.-SITUACIONES PELIGROSAS.

3.a) Corrientes de Fuga.-

Este fenómeno de corrientes de fuga, ocurre en todos los equipos eléctricos conectados en ac; no ocurre en los equipos operados a baterías. Puede o no, ser peligroso.

Se produce por capacitancias indeseables entre la alimentación y la cubierta, ya que la resistencia de aislamiento entre los cables nunca es infinita. Esto permite que algo de la corriente ac, vaya a tierra. Ver fig. 5.

La energía de los campos eléctricos y magnéticos, se acopla a la cubierta del equipo, y puede desarrollar voltajes que se miden fácilmente con un voltímetro. Si la cubierta del equipo, está puesta a tierra, esta corriente de fuga viajará a tierra por la línea de tierra, ya que este cable tiene menos resistencia que una persona que toque la cubierta del equipo.

Las dos fuentes mas comunes de corrientes de fuga, son la cubierta del equipo y los electrodos conectados al paciente.

3.b) La línea de tierra Abierta.-

Los cables de energía están sujetos a continuos abusos, y son a menudo responsables de muchos problemas. Si uno de los 2 cables de alimentación del equipo, se abre, el equipo no funciona. Si los 2 cables en cambio se cortocircuitan, salta el breaker. Pero si el cable de tierra se abre, tenemos un peligro latente, y éste es el problema ya que nadie lo advierte.

Ver fig. 6. Consideremos el caso en que la línea de tierra del instrumento B se abre, las corrientes de fuga que normalmente fluyen a tierra, le hacen ahora a través del paciente y siguen hasta la cubierta del instrumento A y de allí llegan a tierra, mediante la línea de tierra del instrumento A.

3.c) Equipos Conectados al Paciente.-

En equipos médicos antiguos, el cable de alimentación tenía únicamente 2 cables (línea viva y neutro), y en éstos las co-

7

corrientes de fuga permanecían en la cubierta del equipo, a menos que inadvertidamente se proveía alguna trayectoria a tierra. Actualmente los equipos de electrocardiografía, vienen con la conexión de la pierna derecha del paciente a una tierra flotante, mientras que los más modernos conectan la pierna derecha del paciente con la realimentación activa, tecnología ésta que brinda mayor seguridad al paciente y elimina bastante el voltaje de modo común.

En el ambiente hospitalario, y especialmente en las áreas de cuidados intensivos (ICU), los artefactos eléctricos de 2 hilos (línea y neutro), presentan un peligro especial, ya sean éstos lámparas, radios, televisores, etc. Consideremos el siguiente ejemplo, donde un paciente está conectado a un equipo de electrocardiografía, aterrizado y está a su vez acostado sobre una cama eléctrica.

Tanto la cama como el ECG están aterrizados, teniendo ellos una corriente de fuga normal. El ECG debe tener una corriente de fuga bastante pequeña, pero asumamos que la cama tiene una de 100 μA . Debido a que ambos equipos están a tierra, una trayectoria paralela para corrientes de fuga va a existir a través de ellos.

Asumamos que debido a los electrodos, la resistencia del paciente es de 1 $\text{K}\Omega$, y que el cable de tierra tiene una resistencia nominal de 0.1 Ω . Si por algún motivo el paciente toca la cama, es fácil notar que la mayoría de la corriente va a fluir a través del cable a tierra que por el paciente; a través de éste circula una pequeñísima parte, cuyo valor es:

$$I_{\text{paciente}} = (100 \mu\text{A}) \cdot (0.1 \Omega) / (1000 + 0.1) \Omega = 0.01 \mu\text{A}.$$

Vemos que este valor está dentro de los límites de seguridad para evitar microshock.

Si por algún motivo el cable de tierra de la cama se rompe, entonces los 100 μA van a fluir por el paciente cuando éste toque la cama, y aquí nos encontramos frente a un peligro potencial. Ver fig. 7. En la figura 7 hemos considerado además el caso de un marcapasos el cual está conectado directamente al corazón, y hemos tomado como contacto accidental el

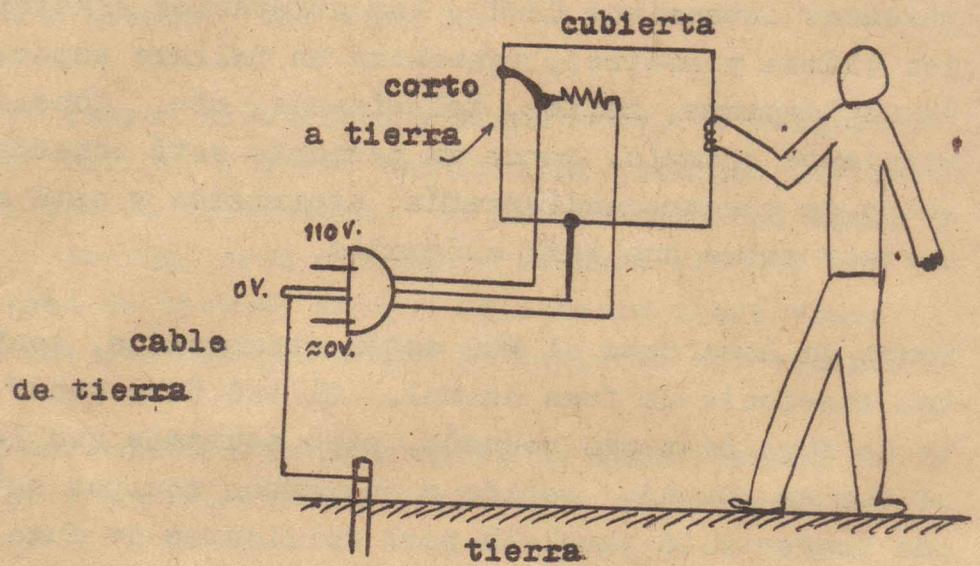
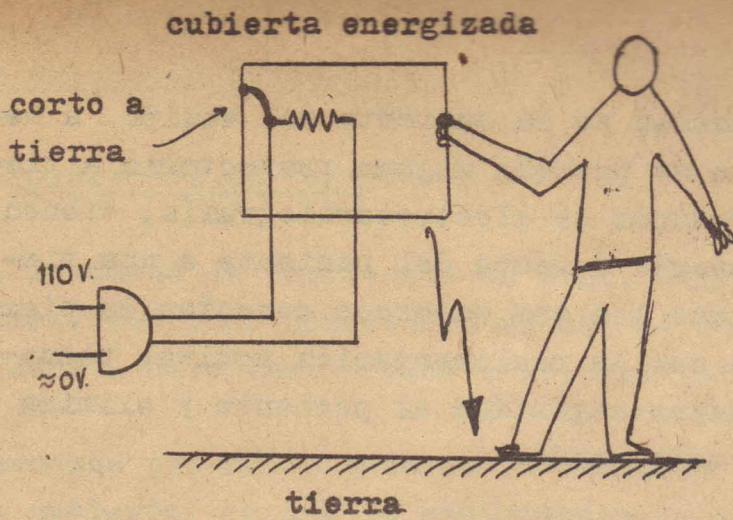


Fig. 4.- Peligros por falta de tierra.

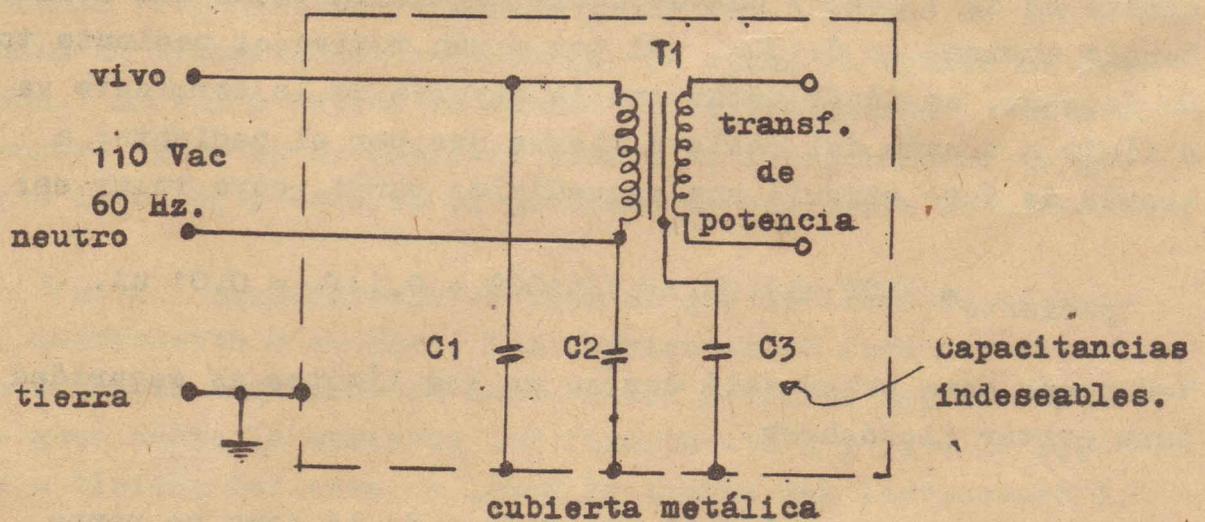


Fig. 5.- Acoplamiento capacitivo entre los cables de energía y la cubierta del equipo, que produce las corrientes de fuga.

de la enfermera, que hace un "puente" entre la cubierta del marcapasos y la cama sin línea de tierra; ésto se ve en la fig. 7b.

Consideremos otro ejemplo, donde tenemos dos equipos médicos electrónicos conectados al paciente; ver fig. 8. Para cada instrumento, la suma de las resistencias del alambrado a tierra, es 1Ω . Si el instrumento A, tiene una corriente de fuga de 4 mA, y el segundo de 2 mA, tendremos un voltaje diferencial entre las dos cubiertas, cuyo valor es:

$$V=I.R = (0.004).(1) + (0.002).(1) = 6 \text{ mVac.}$$

Considerando que el paciente tiene una resistencia de $1 \text{ K}\Omega$,

$$I= 0.006/ 1 \text{ K} = 6 \text{ uA.}$$

Este valor está dentro de los límites de seguridad, pero si una de las corrientes de fuga se eleva, comenzaremos a tener un grave peligro; existen métodos para medir las corrientes de fuga, y éste se lo debe hacer periódicamente.

4.-PREVENCION DE ACCIDENTES.

4.a)Medición de las Corrientes de Fuga.-

La medición de las corrientes de fuga se las puede clasificar en 4 categorías generales:

- 1.-de la cubierta del equipo a tierra.
- 2.-de la cubierta del equipo a la línea.
- 3.-de la cubierta del equipo a los cables de electrodos.
- 4.-entre los cables de electrodos.

Como consecuencia de estas mediciones se desea que la resistencia de la cubierta del equipo a tierra, sea de 0.1Ω como máximo; si por algún motivo ésta es mayor estaremos colocando la cubierta del equipo a un cierto potencial, según lo vimos en los ejemplos anteriores.

Las mediciones deben ser realizadas de manera periódica, y comparar con el dato suministrado por el fabricante del equi-

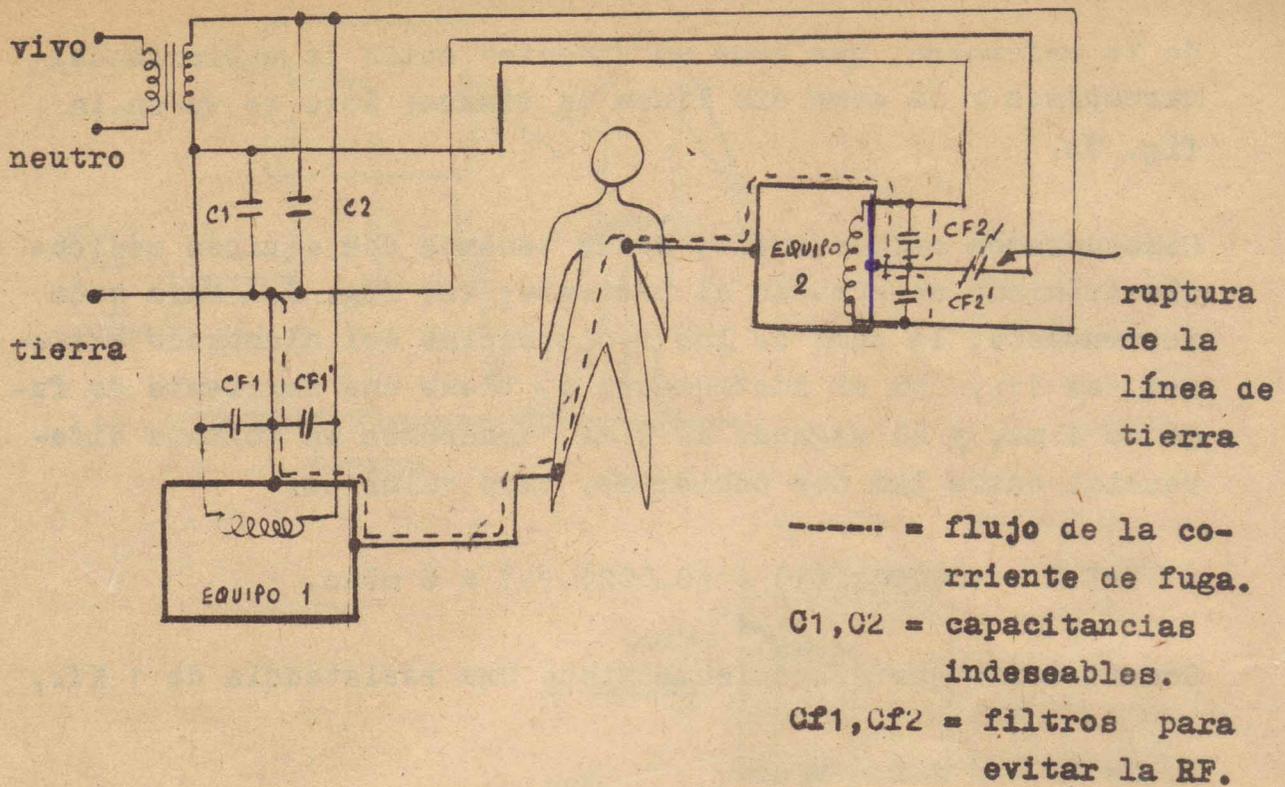


Fig. 6.- Ruptura de la línea de tierra.

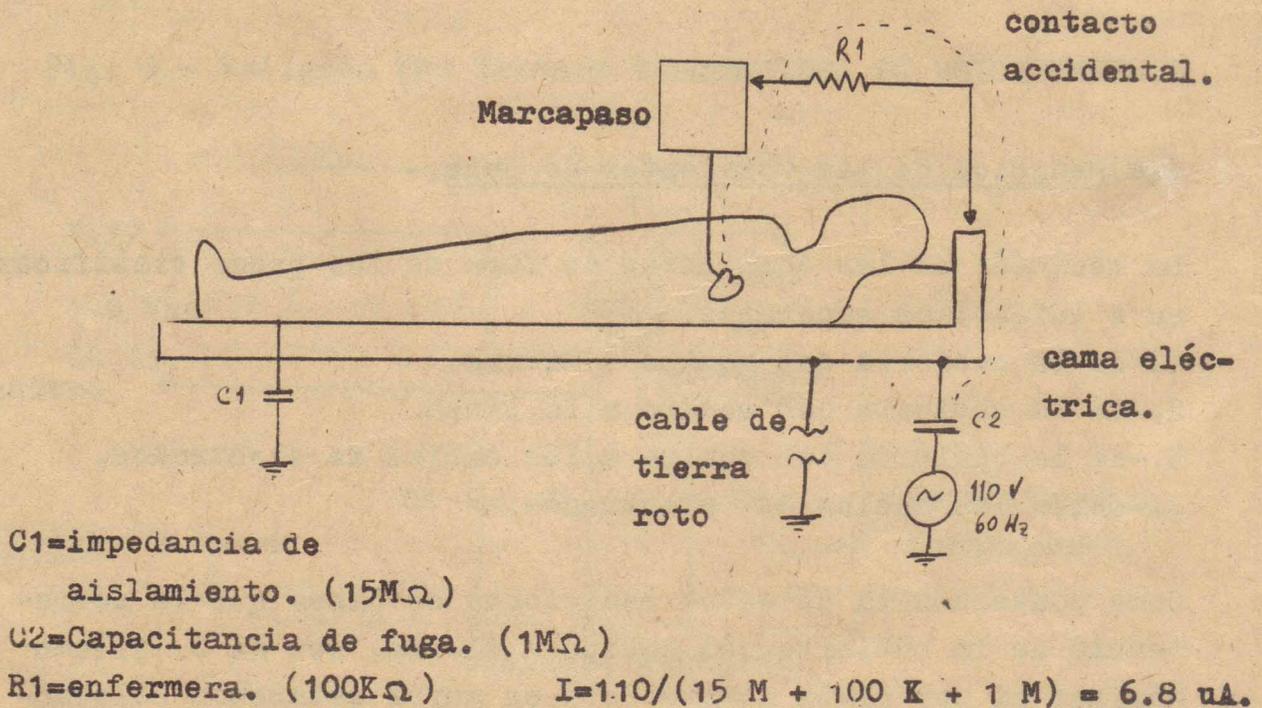


Fig. 7.- Circuito formado cuando la línea de tierra de la cama eléctrica se rompe, y ocurre un contacto accidental con un instrumento de terapia.

po. Estos chequeos se deberían hacer por lo menos cada 3 meses. Lógicamente cuando se adquiere un nuevo equipo, también se le debe medir la corriente de fuga. Esto lo podemos apreciar en la fig. 9.

4.b) Sistema Equipotencial de tierra.

En algunos casos, las técnicas de economía de construcción en las instalaciones eléctricas, dictaminan que en temacorrientes de paredes entre cuartos adjuntos, deben compartir la misma alimentación eléctrica, lo cual nos lleva a una situación de peligro. Si por ejemplo en el cuarto contiguo al de ICU, se conecta una máquina enceradora o aspiradora, el voltaje de la tierra del equipo médico, se puede elevar, lo cual puede permitir que la corriente que fluye entre dos equipos conectados al paciente (figura 8), se incremente, llegando a la conclusión un tanto absurda de que la aspiradora o enceradora puede electrocutar al paciente pese a que se encuentra en otro cuarto.

Las técnicas de seguridad exigen que para reducir los lazos de tierra (corrientes entre las tierras), y llevar estos niveles de corrientes de tierra a unos más seguros, se debe usar un sistema de tierra equipotencial, llamado también Gope de Nieve. Pese a que la diferencia de potencial entre la tierra central y la tierra real puede ser alta, debido a la suma de las corrientes de fuga, en cambio el voltaje diferencial entre los instrumentos en el cuarto está por debajo del nivel peligroso. Ver fig. 10.

4.c) Métodos de Aislamiento y Protección para el Paciente.-

Para reducir la probabilidad de accidentes eléctricos, se han desarrollado unos métodos de protección; varios de ellos son usados universalmente y otros son requeridos en áreas específicas, donde existen riesgos y otros se han desarrollado para usos en quirófanos y en ICU, especialmente.

A) Puesta a tierra: ya se lo vió en el capítulo 2.

B) Aislamiento eléctrico: en las ICU, la presencia de artefactos eléctricos de dos hilos, como radios, etc, presentan un peligro, por lo que se hace necesario eliminarlos.

C) Aislamiento Doble: en equipos médicos se presenta un método para aislar la cubierta del equipo, doblemente, usando plástico.

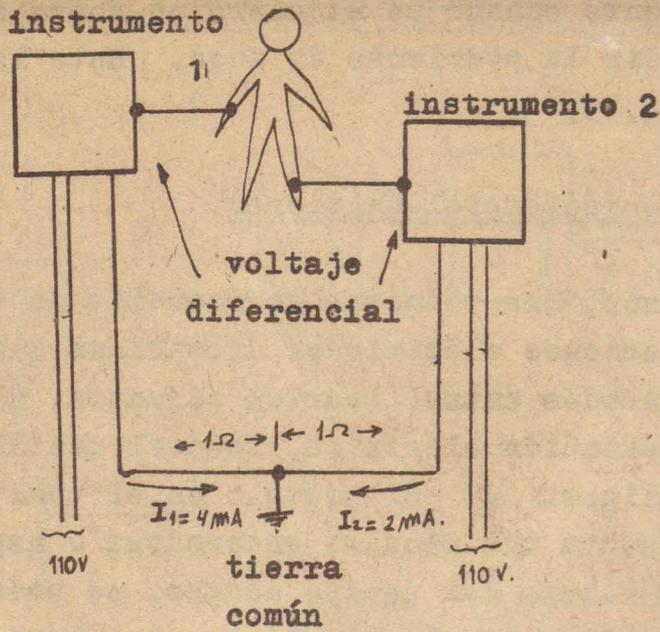
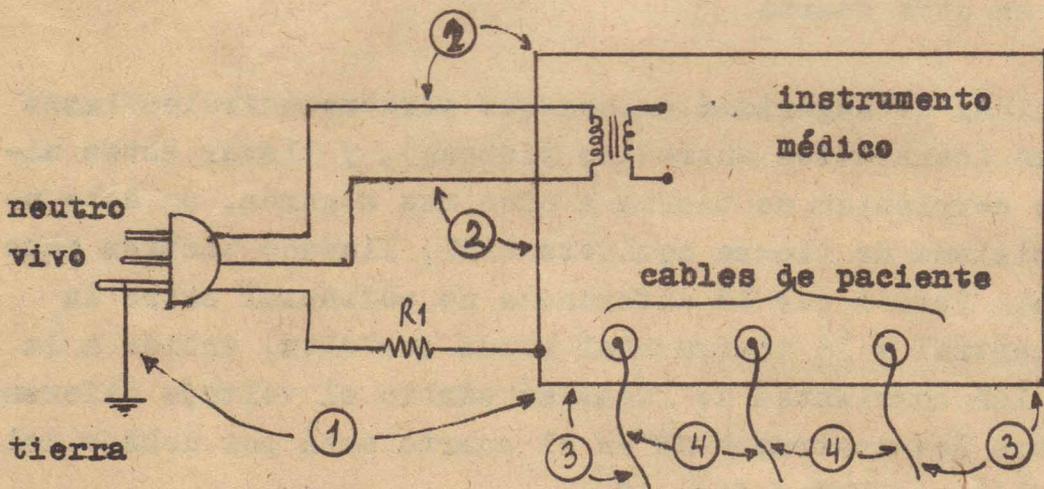


Fig. 8.- Causa de posible electrocutamiento por excesivas corrientes de fuga.



R_1 , debe ser menor que 0.1Ω .

Fig. 9.- Medición de corrientes de fuga.

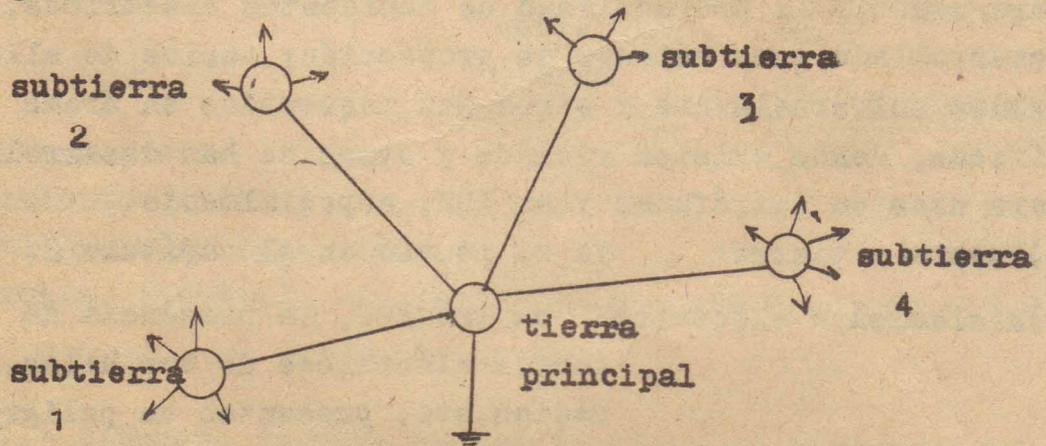


Fig. 10.- Sistema de puesta a tierra "Cope de Nieve".

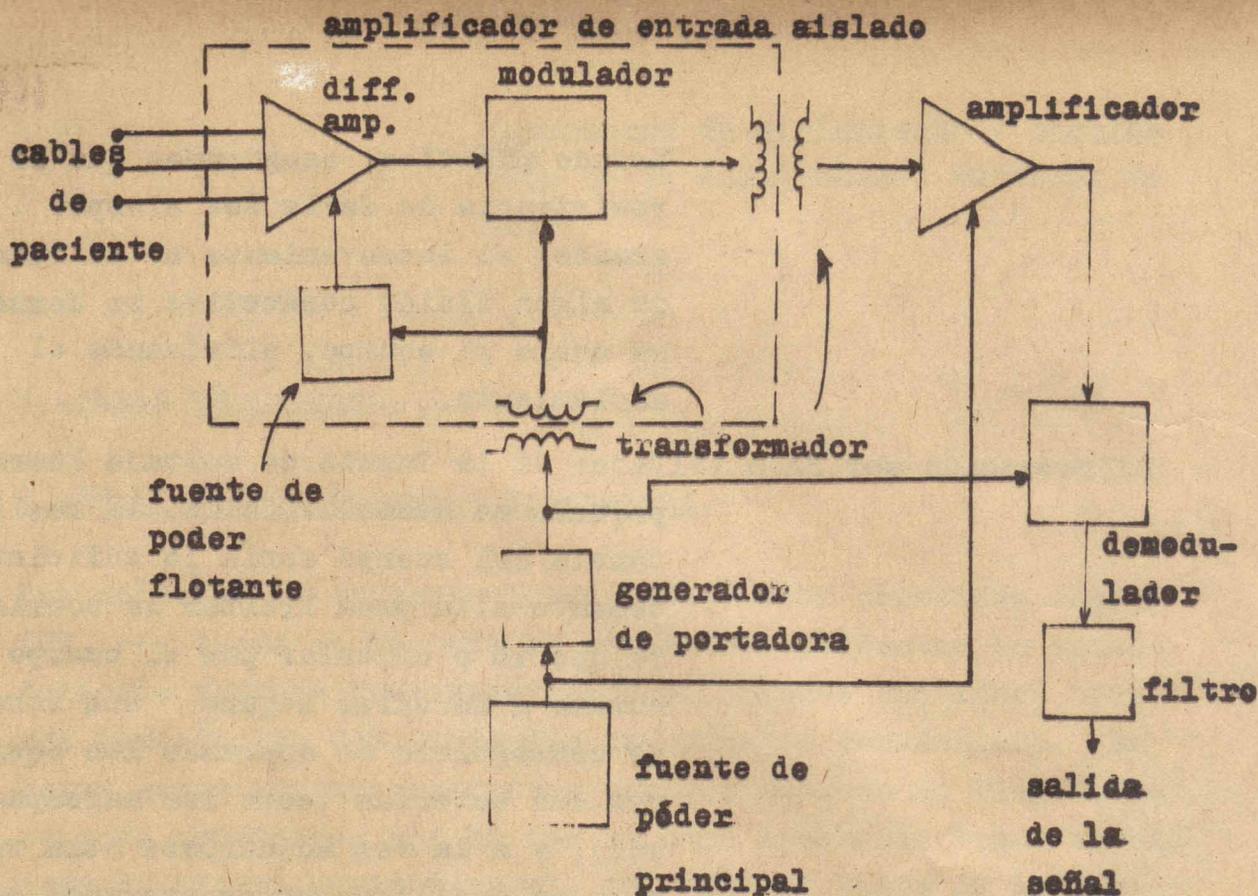


Fig. 11.- Amplificador de entrada aislado usando modulación AM.

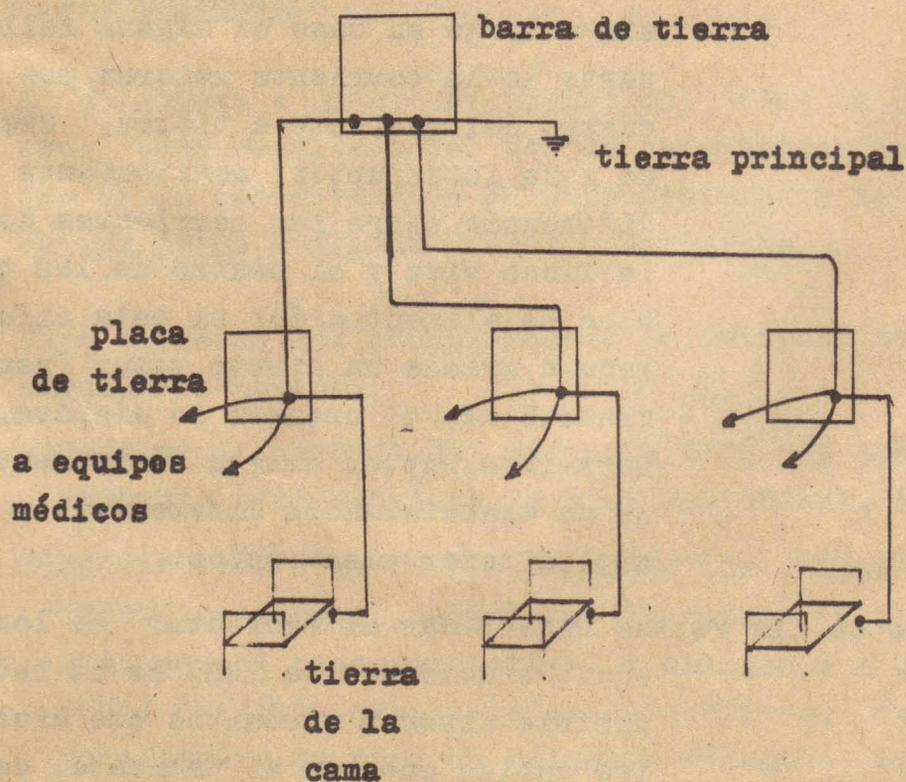


Fig. 12.- Cableado de tierra en un ICU.

Usando plástico, aseguramos que la resistencia de falla sea siempre grande; el inconveniente se da cuando algún fluido conductivo se derrama sobre el equipo, eliminando el aislamiento.

D)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 va a circular por el cuerpo humano a un valor seguro. Una forma de conseguirlo es operando los equipos con baterías (como los marcapasos), y a la vez adquirimos otra ventaja ya que los equipos operados con batería no están puestos a tierra. Otra forma es utilizando transformadores de reducción de voltaje.

E)Interruptor de Circuito de Falla a tierra: normalmente toda la corriente que entra a un dispositivo a través de la línea viva, retorna mediante la línea de neutro; sin embargo en caso de alguna falla, parte de la corriente retorna por el cuerpo del paciente a tierra. Usando este interruptor, monitoreamos la diferencia entre las corrientes de la línea viva y el neutro de los cables de alimentación; si esta diferencia excede un cierto valor (usualmente 5 mA, el breaker se dispara. Este interruptor consta básicamente de un transformador diferencial y un amplificador electrónico.

F)Aislamiento de las Partes conectadas al Paciente: en los equipos modernos de ECG, se ha hecho posible diseñar circuitos que aislen los cables que van al paciente, de tierra. Esto lo vemos en la fig. 11. Se lo consigue mediante trans-

formadores de aislamiento y modulación de la señal usando técnicas de AM.

5.-AREAS DE INTERES.

5.a)Unidades de Cuidados Intensivos.-

Las unidades de cuidados intensivos, mejor conocidas como ICU, son áreas en las que se encuentran pacientes en estado delicado y donde debe estar bajo un cuidado continuo; tenemos también las CGU (unidades de cuidados coronarios). En estas áreas tenemos bastantes equipos médicos de diagnóstico y de monitoreo, por lo que se hace necesario tener un sistema de tierra equipotencial, tal como el visto en la fig. 10.

En base a ese sistema, se ha diseñado una distribución típica de la conexión de tierra en un ICU, donde la tierra de los equipos de monitoreo del paciente, de las camas y para otros usos van a un punto común. Ver fig. 12.

5.b)Quirófanos.-

El quirófano o cuarto de operación, tiene un cableado especial, como resultado del uso de anestésicos inflamables, ya que si la concentración es suficientemente alta, una pequeña chispa puede inflamar tales anestésicos.

Para eliminar las posibilidades de chispas, se siguen las siguientes normas:

- A) Regular la humedad del paciente a un 50% constante en todo momento; esto mantiene la piel semihúmeda, mas no sudada.
- B) Proveer una trayectoria para que las cargas presentes en el cuerpo semihúmedo, abandonen el cuerpo, y se le consigue haciendo el piso conductivo, y obligando a que todo el personal del área, use zapatos conductivos. Ver fig. 13.
Normalmente un piso de baldosas encerado, tiene una resistencia bastante alta (aislante); los pisos de los quirófanos tienen una malla de alambre y pedazos de carbón tal que

su resistencia es baja (entre $25\text{ K}\Omega$ y $1\text{ M}\Omega$). El piso actúa como un descargador continuo para prevenir que se acumulen cargas en el paciente.

Finalmente veamos una configuración típica de un quirófano en la fig. 14, donde podemos apreciar la ubicación de la tierra tanto para los equipos de diagnóstico como de la mesa de operación y del piso, siendo ésta una configuración equipotencial de tierra.

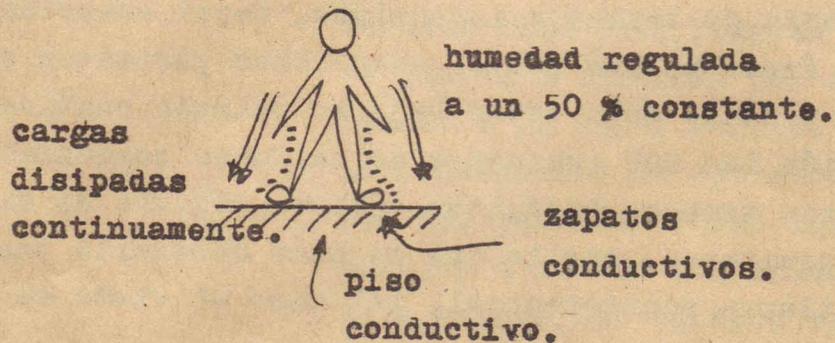


Fig. 13.- Normas para evitar chispas en un quirófano.

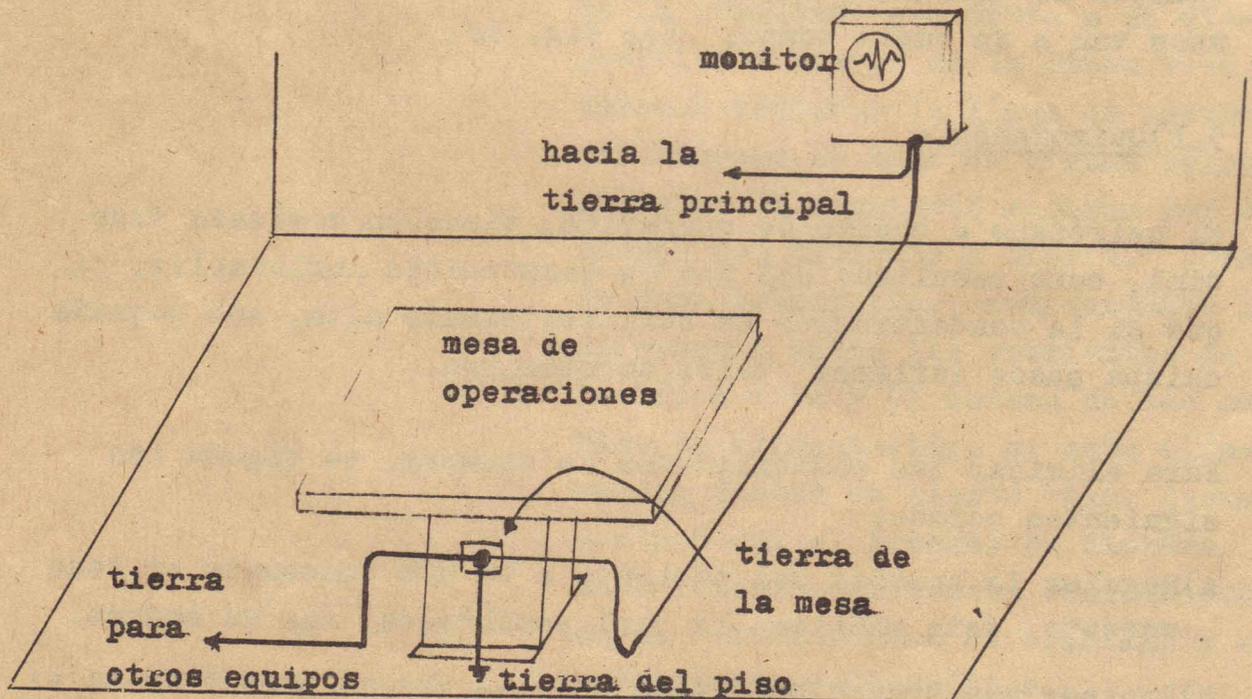


Fig. 14.- Piso cubierto con pantalla de cobre, en un quirófano, para minimizar interferencia y las corrientes de tierra.

BIBLIOGRAFIA.

Biomedical Instrumentation and Measurements.....Cromwell.

Introduction to Medical Electronics.....Klein.

Medical and Bioelectronic Equipment.....Carr.

Texto de la materia Electrónica Médica.

Revista Spectrum, Febrero de 1972.