

TITULO: LA MEDICION ELECTRONICA PREVENTIVA EN EL AMBIENTE HOSPITALARIO.

AUTORES: Ing. Oscar Ricardo Ferro, Ing. Eduardo Areco, Ing. Eduardo de Forteza.
Ing. Elisardo Marcelo Rodríguez Chatruc.

FECHA: 22 de Marzo de 1993.

ENTIDAD: Instituto de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. (ICYCC). Fundación Favalaro. Departamento de Ingeniería. División Ingeniería Biomédica. Sección Instrumentación Médica (SIM).

T E: 383-1110 , Int. 4835

FAX: 381-1001

DOMICILIO: Av. Belgrano 1746/58/66/68 (1093). Buenos Aires. Argentina

INTRODUCCION:

La tecnología de avanzada y las mediciones específicas que se desarrollan dentro de una institución para el cuidado de la salud obligan a extremar las medidas de seguridad eléctrica, siguiendo los estándares nacionales e internacionales para éste tipo de ambiente. Se deberá tener en cuenta:

- 1) El sistema eléctrico: Alimenta habitualmente equipos de vital importancia para el paciente. Ejemplo: Respiradores, bombas de circulación extracorpórea, unidades de hemodiálisis.
 - 2) El instrumental médico: El paciente se encuentran en un ambiente que no le es familiar, y en muchas oportunidades se encuentra imposibilitado para reaccionar ante situaciones de peligro. Además el tratamiento médico impone la utilización de elementos (catéteres, electrodos) que disminuyen el umbral de riesgo eléctrico. Una situación que una persona saludable podría soportar sin inconvenientes en su domicilio, puede resultar fatal en el hospital
- Por ello es que el instrumental médico de un área crítica, donde es frecuente la utilización de una gran cantidad y variedad de los mismos conectados a un paciente para medir sus parámetros

fisiológicos, no debe presentar fallas en su construcción y/o funcionamiento

Por lo anteriormente expuesto se hace imprescindible el control adecuado del equipamiento para verificar si el mismo cumple con los estándares aplicables a las instalaciones e instrumental médico. Para ello se debe contar con profesionales capacitados y en permanente aprendizaje, instrumental de medición, manuales de usuario y servicio técnico y un trabajo en equipo con las distintas áreas del hospital, proveedores, representantes y fabricantes de equipos médicos.

Nuestro trabajo trata sobre los efectos fisiológicos de la electricidad en los seres humanos (teoría de micro y macroschok), su control y el empleo de los testadores de equipamiento electromédico y simuladores de parámetros fisiológicos para determinar el correcto funcionamiento de los mismos. Se ejemplifica con mediciones efectuadas y gráficos la necesidad de contar con instrumental electrónico adecuado, sin el cual es imposible chequear el funcionamiento de instalaciones y equipos electromédicos

Agradecimiento: Este trabajo fue realizado con la importante colaboración de Diego Tassi, Fabián Monteleone, Ariel Topasso y Karen Blufstein, todos ellos integrantes de la División Ingeniería Biomédica

LA MEDICION ELECTRONICA PREVENTIVA EN EL AMBIENTE HOSPITALARIO.

INTRODUCCION.

La instrumentación electrónica en la práctica médica se ha incrementado enormemente en las últimas décadas, en cantidad y en complejidad. Algunos de estos instrumentos se conectan a pacientes en una forma que disminuye las defensas normales del organismo, apareciendo riesgos eléctricos de características especiales. Los factores determinantes de la seguridad eléctrica son:

- a) El sistema de distribución de energía eléctrica
- b) La selección de equipamiento de acuerdo a las normas vigentes
- c) El chequeo del equipamiento.

Para que la seguridad eléctrica sea un hecho concreto debemos tener presente los conceptos básicos a aplicar y efectuar las mediciones electrónicas necesarias

- Distribución de energía eléctrica.

Los circuitos eléctricos se alimentan desde el secundario de los transformadores reductores (sistema trifásico estrella, con neutro el cual se encuentra unido a la tierra).

La tierra para equipos médicos se encuentra separada de la tierra necesaria para otras aplicaciones (motores del sistema de aire acondicionado, circuitos de energía normales). La energía eléctrica se utiliza no sólo para alimentar instrumentos médicos, sino también para iluminación, artefactos para mantenimiento, limpieza, sistema de aire acondicionado, llamadores de enfermera, elementos de uso general por parte del paciente (secadores de pelo, televisores, radios), sistemas contra incendios, sistemas de vigilancia, sistemas de computación. Además entre los instrumentos médicos nos encontramos con elementos que requieren diferentes suministros eléctricos en potencia, estabilidad y

permanencia,poseyendo algunas baterías propias.Podemos dividir los circuito eléctricos en tres grupos:

1)Sistema normal (sin fuente alternativa ante falla)

2)Sistema de emergencia.(Ante falla funciona desde grupos electrógenos).En general se cuenta con dos sistemas de emergencia(1 y 2)alimentados desde 2 grupos electrógenos diferentes

3)Sistema permanente(se alimenta con UPS;unidad ininterrumpida de energía) con dos subsistemas

a)aislado

b)no aislado.

La clasificación de aislado y no aislado puede aplicarse también en los sistemas de emergencia, en el caso de no contar con una UPS.

Por ejemplo un respirador debe funcionar sin interrupción del suministro eléctrico,por lo cual deberá alimentarse desde una UPS,lo que a su vez,tratándose de un sistema ON LINE garantizará condiciones superiores en la calidad del suministro eléctrico(mayor estabilidad y eliminación de ruidos).Un televisor podrá estar conectado a un circuito normal(en caso de corte de suministro eléctrico por parte de la compañía quedan sin energía eléctrica)ya que se trata de elementos prescindibles en situaciones de emergencia.En éste tipo de artefactos y otros que puedan ser propiedad del paciente o alquilados hay que someter el ingreso de los mismos al hospital a un estricto control,por consideraciones de potencia de los circuitos eléctricos y consideraciones de seguridad En algunas oportunidades un equipo que parece inofensivo en sí mismo puede provocar la salida de servicio de un circuito eléctrico por sobrecarga o cortocircuito y si a ésto agregamos que pueden haberse conectado a un circuito de emergencia y/o permanente por error el problema toma características serias,ya que puede dejar sin energía

a equipos vitales conectados a diversos pacientes, ya que en la mayoría de las oportunidades éstos circuitos son compartidos por varias camas.

Otros equipos como pueden ser los calefactores de agua, las servocunas, incubadoras de mayor potencia se conectarán en general a la red de emergencia la cual en caso de falla del suministro normal será alimentada desde grupo electrógeno (demora aproximada en restablecer el servicio 1 a 2 minutos). Parte de los circuitos de iluminación se conectarán a la red de emergencia.

Equipos tales como las salas de hemodinámica, rayos y cámara gamma requieren gran potencia eléctrica y con tolerancias especiales las que se tendrán en cuenta en caso de desear mantener el servicio funcionando ante cortes del suministro eléctrico.

Otra consideración es el tipo de sistema eléctrico utilizado, es decir, aislado o no aislado. Los sistemas aislados alimentarán los circuitos eléctricos de áreas críticas donde se encuentren pacientes eléctricamente susceptibles. Hay que recordar que hoy en día existen transformadores de aislación toroidales que limitan la corriente de fuga a menos de 10 μ A. Además los preamplificadores que se utilizan en conexión al paciente proveen la aislación necesaria. En general los sistemas aislados se instalan en los circuitos de suministro de energía permanente por el tipo de instrumento que se conectan a éstos sistemas

En sistemas no aislados ha de tenerse especial cuidado con el uso de disyuntores diferenciales ya que los mismos ante una corriente de fuga del orden de los mA a tierra, cortan el suministro eléctrico sin previo aviso, lo cual puede ser muy peligroso para el paciente

No deberán utilizarse nunca las cañerías como reemplazo del conductor de tierra (ya que la corrosión y/o eventuales interrupciones interrumpen la continuidad eléctrica) Lo que sí deberá asegurarse es que las partes metálicas expuestas y que puedan entrar en contacto con el paciente no posean diferencias de potencial mayores a

1) Áreas críticas: 100 mV en condiciones normales de operación.

2) Áreas de cuidados generales: 500 mV en condiciones normales de operación.

(Especificación NEC, National Electrical Code, USA, 1978, artículo 517-80 y 517-81, frecuencia menor de 1000 Hz y medido sobre una resistencia de 1000Ω).

Los conductores de tierra de acuerdo a NEC, 1978, Article 517-11 requiere que todos los tomas posean un conductor de tierra de cobre con aislación de color verde

Son necesarios frecuentes y periódicos testeos de la continuidad eléctrica entre la tierra médica y todas las superficies conectadas a tierra en la vecindad del paciente. Este control se extiende a toda clase de equipamiento médico y equipamiento de cualquier clase.

Por lo menos dos circuitos eléctricos diferentes con sus protecciones individuales deben alimentar a cada puesto de atención de paciente, para asegurar suministros alternativos de energía en caso de falla.

- Sistemas de energía aislados.

En éstos sistemas ambos conductores se encuentran aislados de tierra por medio de un transformador de aislación. Una falla de un conductor a tierra simplemente lo convierte en un sistema aislado. Se requiere una segunda falla desde el otro conductor a tierra para obtener una circulación de corriente importante y hacer actuar las protecciones

En conjunto con éstos transformadores se utilizan monitores de aislación (LIM) de línea que detectan la ocurrencia de la primera falla de cualquier conductor a tierra. El LIM mide alternativamente la corriente de fuga total que fluiría a través de una baja impedancia que apareciera entre cualquier conductor y tierra

Cuando la corriente supera un umbral preestablecido (por ejemplo 2 mA) el LIM alerta la situación encendiendo una luz roja y activando una señal audible. En éste punto es muy

importante dar instrucciones en las áreas donde se encuentran instalados éstos dispositivos acerca de los pasos a seguir cuando se activan éstos monitores para que no se produzcan situaciones de pánico.

En todos los sistemas que hemos mencionado deberá efectuarse un control periódico de los consumos, tensiones, temperatura y estado general de los transformadores de aislación, medición de la corriente de fuga, medición de las resistencias de aislación, inspecciones para constatar la conexión de los distintos equipos en los circuitos correctos y para detectar la eventual conexión de equipos no controlados previamente por el departamento de Ingeniería Biomédica. Deberá verificarse el estado de los distintos cables de conexión, borneras, conexión de tierras, estado de las protecciones termomagnéticas y una señalización unívoca de cada circuito. Periódicamente se efectuarán cortes programados, comunicados con suficiente antelación y proveyendo alimentaciones alternativas en los circuitos que sea necesario, para la realización de tareas de servicio técnico preventivo a los tableros eléctricos y transformadores de alimentación.

EFFECTOS FISIOLÓGICOS DE LA ELECTRICIDAD.

Para que aparezca un efecto fisiológico, el cuerpo debe formar parte de un circuito eléctrico. La corriente ingresará al cuerpo por un punto y saldrá por otro. Aplicando la ley de ohm la magnitud de la corriente será igual a la tensión aplicada dividido por la impedancia entre las dos áreas en contacto. La impedancia es determinada por la impedancia del cuerpo y de las interfaces de contacto (tipo de piel y estado de la misma, humedad, presión en la zona de contacto)

Cuando la corriente circula a través de tejidos biológicos pueden ocurrir tres efectos generales.

1) Calentamiento resistivo del tejido

2) Estimulación eléctrica de tejidos excitables (nervios y músculos).

3) Quemaduras electroquímicas (para corriente continua).

A continuación vamos a discutir los efectos psicofísicos y fisiológicos de la corriente eléctrica sobre humanos en la medida que la misma se va incrementando. Se dan los valores medios o umbrales para un hombre de 70 Kg de peso, con una exposición de 1 a 3 segundos a una corriente de 60 Hz de frecuencia aplicada a las manos sujetadas a 2 cables de cobre

- Umbral de percepción.

Cuando la densidad de corriente es la suficiente para excitar las terminaciones nerviosas en la piel el hombre sufre una sensación de "hormigueo" El umbral de percepción se define como la menor corriente cuyos efectos puede detectar un individuo Este umbral varía considerablemente entre individuos y las condiciones de medición

Si el individuo sujeta con sus manos húmedas pequeños cables de cobre, el umbral más bajo es del orden de 0.5 mA a una $f=60\text{Hz}$. Para corriente continua el umbral está entre 2 y 10 mA, percibiéndose un ligero calentamiento de la piel

- Corriente "Let-go" (de retiro).

Para niveles de corriente superiores, los nervios y músculos son estimulados vigorosamente, apareciendo dolor y fatiga. La corriente "Let go" se define como la máxima corriente para la cual el sujeto puede retirarse voluntariamente. Para el 50 % de los hombres el umbral es de 9.5 mA.

- Parálisis respiratoria, dolor y fatiga.

Corrientes aún más elevadas causa una contracción involuntaria de los músculos respiratorios, tan importante que puede producir la muerte por asfixia si la corriente no es interrumpida. Contracciones involuntarias intensas y prolongadas causan dolor y fatiga. (18 a

22mA).

- Fibrilación ventricular.

Parte de la corriente que atraviesa el pecho fluye a través del corazón. Si la magnitud de la corriente es suficiente para excitar parte del músculo cardíaco, la propagación normal de la actividad eléctrica en el músculo cardíaco se altera. Una vez que se desincroniza la actividad ventricular (fibrilación), la acción de bombeo cesa y la muerte ocurre en minutos.

La fibrilación ventricular no desaparece al remover la corriente que la generó y es una de las causas más comunes de muerte debida a shock eléctrico. El umbral para un hombre de tamaño medio está entre 75 y 400 mA.

Existe la posibilidad de retornar al ritmo cardíaco normal aplicando un pulso de breve duración de un desfibrilador para despolarizar todas las células del músculo cardíaco simultáneamente.

- Contracción miocárdica sostenida

Cuando la corriente es lo suficientemente elevada, el músculo cardíaco entero se contrae. El corazón detiene su acción de bombeo mientras se aplica la corriente, pero retorna a su ritmo normal cuando se interrumpe la corriente, como en la desfibrilación.

Datos obtenidos de experimentos con animales (desfibrilación con corriente alterna) indican que la corriente mínima se ubica entre 1 y 6 A. No se han observado daños irreversibles.

- Quemaduras y daños físicos.

Se conoce poco sobre los efectos de corrientes superiores a 10 A, especialmente de corta duración. El calentamiento resistivo causa quemaduras, comúnmente sobre la piel en los puntos de contacto, ya que la resistencia de la piel es elevada.

Tensiones superiores a 240 voltios pueden perforar la piel. El cerebro y otros tejidos nerviosos pierden la función de excitabilidad. Altas corrientes pueden producir el desprendimiento de los