

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA  
Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica



**PUESTA A TIERRA Y SISTEMA DE AISLAMIENTO  
EN HOSPITALES**

TESIS

Para optar el Título Profesional de  
**INGENIERO ELECTRICISTA**

**JAIME TRUJILLO VIDAL**

Promoción 1983 - II

Lima - Perú  
1987

"Con el Reconocimiento más  
profundo al esfuerzo indes\_  
mayable de mi querida ma-  
dre Matilde"

## I N D I C E

		PAG.
	INTRODUCCION	1
CAP. I	PELIGROS ELECTRICOS EN HOSPITALES	4
	1.00 Generalidades	
	1.01 Peligros Eléctricos debido a electricidad creada por el hombre.	5
	1.01.1 Fugas de corriente	8
	1.01.2 Códigos y Normas	9
	1.02 Peligros eléctricos debido a electricidad estática.	18
	1.02.1 Descargas electrostáticas	18
	1.02.2 Causas de electricidad estática.	27
CAP. II	DISEÑO DE PUESTA A TIERRA PARA SALA DE OPERACIONES Y CUIDADOS ESPECIALES EN HOSPITALES	48
	2.00 Conexión a tierra	48
	2.01 Sistema a tierra instalado permanentemente	51
	2.02 Conexión a tierra equipotencial	52
	2.03 Cordones externos a tierra	56
	2.04 Guías de Diseño	63
	2.04.1 Concepto de Sistema	63
	2.04.2 Aplicación	64
	2.04.3 Criterio de Aplicación General	66
	a) Tamaño	
	b) Capacidad del sistema	
	c) Sistemas en tubos y alambres	
	d) Requisitos del Código.	
	2.04.4 Designación del sistema	76
	2.05 Sistema de Aislamiento	112
	2.05.1 Sistema sin puesta a tierra	113
	2.05.2 Aislamiento Imperfecto	114

	PAG.
2.06 Reducción del peligro electrostático	115
2.06.1 Pisos Conductivos	116
2.06.2 Métodos de prueba	119
2.06.3 Indicaciones de colocación y prueba de pisos de terrazo conductivo.	123
2.06.4 Especificaciones para la colocación de baldosas conductivas.	124
2.06.5 Descripción de los sistemas de protección de los sistemas de puesta a tierra.	126
 CAP. III PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE PUESTA A TIERRA	 137
3.00 Proceso	137
3.01 Determinación de la resistividad específica del terreno.	138
3.01.1 Método de Wenner	138
3.01.2 Método de Carpinter	139
3.01.3 Método de Schlumberger	140
3.01.4 Método de Thaper y Gross	142
3.01.5 Medición de la resistividad mediante puente de resistencias.	143
3.01.6 Precauciones para una buena medición del terreno.	145
3.02 Análisis del tipo de Electrodo a utilizar	145
3.02.1 Electrodo cilíndricos	145
3.02.2 Electrodo de placa	147
3.02.3 Electrodo de cinta	147
3.03 Fórmulas a Aplicar	148
3.03.1 Electrodo verticales ó jabalinas	148
3.03.2 Grupo de jabalinas paralelas, teniendo en cuenta la resistencia de puesta a tierra de una de ellas.	149
3.03.3 Electrodo Horizontales ó Contrapesos	151
3.03.4 Electrodo compuestos método de Swartz	154
3.04 Aparatos de Medición	156
3.04.1 Megger de Equilibrio en cero	156
3.04.2 Megger de Lectura Directa	156

	PAG.
3.04.3 Accesorios	157
3.04.4 Medidas de seguridad en las medidas de campo.	157
CAP. IV MANTENIMIENTO ELECTRICO Y COSTOS	159
4.00 Sistema de contacto a tierra	160
4.01 Sistema de Potencia Aislado	161
4.02 Adaptadores y cordones de extensión	166
4.03 Mantenimiento de equipo médico	167
4.04 Pruebas continuas de tierra.	170
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	172
BIBLIOGRAFIA	175

## INTRODUCCION

El presente estudio esta destinado a prevenir en lo posible situaciones riesgosas en Centros Quirúrgicos y Cuidados especiales, causados por la acumulación de cargas electrostáticas y fugas de corrientes - producidos por los módulos que se encuentran operando cerca de los pacientes, planteando alternativas de diseños y control para la aplicación de los sistemas eléctricos en los Hospitales.

Asi mismo, sin pecar de originalidad tengo la intención que sirva de guía a los interesados en la materia en la aplicación de sistemas de puesta a tierra y describir detalladamente el equipamiento hacia una comprensión efectiva y económica sobre el citado sistema de aislamiento en Hospitales.

Se ha venido fabricando transformadores de aislamiento para ser usado en Hospitales en forma continua desde las primeras Normas Técnicas que apareció en 1,944, con bajo e igual sonido y un mínimo esencial de fuga, comenzando asi el sistema inicial de aislamiento de puesta a tierra.

Debe advertirse que éste estudio no es un manual para instalaciones de aislamiento en Hospitales; sino una guía de principios básicos de diseño.

La información en cuanto a Códigos y Normas se incluye en este estudio; sin embargo, debe advertir que dichos Códigos y Normas se encuentran sujetos a continuos cambios.

Se recomienda que cualquier Hospital que se proponga efectuar cambios en el diseño de su sistema eléctrico ponga bastante atención en el área de cuidados intensivos ó cuidados de pacientes críticos y contra ten los servicios de un Ingeniero Consultor electricista competente.

La compleja técnica de los Hospitales de hoy hacen que el conocimien to de la persona ó personas que integran en el proyecto tengan una visión global del mismo, aspectos que previene la adquisición de equipos innecesarios si estos no estan acorde con el sistema eléctri co proyectado.

La situación anotada anteriormente hace necesario el compromiso de todos los profesionales que intervienen en un proyecto de esta natura leza, llámese Ingeniero Consultor, Administradores de Hospitales, Je fes de Cirugía y Anestesia, Cardiólogo é incluso representantes de los fabricantes seleccionados a proveer los equipos a instalarse.

En suma, el trabajo en general en cada uno de sus capítulos describen en forma detallada como debe efectuarse los diseños del sistema de puesta a tierra y aislamiento de las instalaciones eléctricas en los ambientes quirúrgicos, cuidados intensivos, salas de anestesia, etc. de los Centros Hospitalarios; pues, en la actualidad los Centros Qui- rúrgicos no cuentan con ningún sistema de protección contra una posi ble acumulación de cargas electrostáticas y fugas de corriente, situa ción sumamente peligrosa para los pacientes y sin temor a equivocarme no sabemos cuantos pacientes habran fallecido como producto de esta prevención sin que el médico pueda explicar en forma objetiva la cau sa del deceso, ya que es común muchas veces escuchar mentar que un pa ciente ha fallecido "porque no resistió la operación".

Dado que en un futuro muy cercano el archivo de Historias Clínicas se almacenarán en la memoria de computadoras, en este estudio se indica la forma como debe trabarjarse y la prevención que debe tomarse para evitar errores causados por descargas electrostáticas ó interferencias electromagnéticas.

Finalmente debo agregar que el presente trabajo es producto de mi experiencia de recopilación de datos durante 3 años, obtenidos en la Dirección de Infraestructura Física de la Dirección de Proyectos del Ministerio de Salud y además en base a la información obtenida de los Códigos Americanos, como el Código Eléctrico Nacional Americano (NEC) Norma Contra Incendios (NFPA).

Considero que este trabajo no abarca todo el contexto del tema tratado, por su complejidad y amplitud; sin embargo, mi más sana intención ha sido presentarlo lo mas completo posible de acuerdo a nuestra realidad y creo haber cumplido con mi objetivo.

## CAPITULO I

### 1. PELIGROS ELECTRICOS EN HOSPITALES

#### 1.00 Generalidades .-

Los accidentes, incidentes de fuego y explosiones en salas de operaciones durante los años 20 y cerca a los años 30, causo gran inquietud en medio de las autoridades responsables.

Fue reconocida como la mejor causa de éstas formas de accidentes dentro de las 2 categorías. Electricidad creada por el hombre y electricidad estática, la cual constituye en 75% del total.

En 1,939 se inició el estudio sobre estas condiciones y producir una Norma de seguridad, el advenimiento de la II guerra mundial retrasó el primer resultado a éstos estudios hasta 1,944.

Al mismo tiempo "Seguridad Práctica en cuarto de Operaciones en Hospitales" fue publicado por NFPA (Agencia Nacional de protección contra Incendios) de cualquier manera estas Normas rudimentarias no fueron generalmente adoptadas en la construcción de Hospitales hasta 1,947.

Asi las nuevas Normas se adoptan en 1,949, vino a ser NFPA - 56, éste fue la base de la que se desarrolló las

presentes Normas.

El Código Eléctrico Nacional Americano (NEC) de 1,959 firmó esta bleciendo el sistema de aislamiento en distribución de puesta a tierra para áreas en las que se usa gases combustibles, fue el año en que adoptaron las Normas NFPA en los Códigos.

Mejores revisiones han sido hechas por NFPA No.56A en 1,970, 1,973, 1,978 y 1,981, estas Normas son luego estudiadas "Norma para el uso en instalaciones anestésicas" y como referencia es hecha en la parte del NEC artículo No. 517, facilidades de cuidados del corazón. "Localidades de instalaciones Anestésicas".

#### 1.01 Peligros Eléctricos debido a electricidad creada por el Hombre .-

Las mayores contribuciones a los accidentes eléctricos en Hospitales son fallas en los equipos y en los cables. Estos accidentes pueden ser averías bajo fuego, quemaduras y choques eléctricos. El enfoque de ésta sección es tratar el tema de los choques eléctricos.

Se ha determinado que los choques eléctricos son producidos por corrientes mas que por voltaje. En otras palabras no es la cantidad de voltaje a la que una persona es ta expuesta sino a la mayor cantidad de corriente transmitida a través de su cuerpo que determina la intensidad de choque.

Un cuerpo humano actúa como una gran resistencia a la corriente circulante, el promedio adulto exhibe una resistencia de 100,000 a 1'000,000 de ohms. cuando se mide ma

no a mano su resistencia dependerá de la masa de su cuerpo y el grado de humedad. El umbral de percepción para un adulto promedio es 1 (un) miliamperio. En este punto el adulto sentirá un ligero estremecimiento a través de la punta de sus dedos.

Entre 10 a 20 mA, el sujeto experimentará contracciones musculares y encuentra mayor dificultad en soltar sus manos del electrodo, una aparente aplicación de corriente inducida de 50 mA provoca dolor, posible desmayo y agotamiento. Un incremento de 100 mA causaría fibrilación ventricular.

Los iguales peligros de corriente para pacientes son asombrosamente menores, algunos pacientes son mucho más susceptibles a las corrientes eléctricas que a los de atención médica. Los pacientes más susceptibles son los expuestos a conductores exteriores, sonda diagnóstica, otros contactos eléctricos en ó cerca de los músculos cardiacos, técnica quirúrgica a través de la resistencia del cuerpo del paciente y expuestos a corrientes eléctricas alrededor del equipo vecino.

Lo riesgoso de ésto es la cirugía concerniente a la cavidad torácica.

El uso incrementado de monitores cardiacos, unidades de inyección; sondas cardiacas, etc. ha incrementado también la amenaza de electrocución cuando invaden el sistema circulatorio.

Pacientes adultos con molestias cardiacas; pueden ser blancos de electrocución a causa del mal uso de marcapasos conectado directamente al miocardio. Los niños son más susceptibles a choques eléctricos porque su poca masa resulta un cuerpo de baja resistencia, mucho se ha escrito del nivel de corriente considerada mortal para pacientes Quirúrgicos, considerable controversia en lo que cual es el nivel de peligro actual en los pacientes con una conexión eléctrica directa a sus músculos cardiacos.

El mínimo de riesgo parece ser lo microamperios con un máximo de 180 microamperios. Cual sea el nivel que se escoja - entre 10 y 180 microamperios a señalar que éste es solo una fracción de ese nivel; el cual es riesgoso a los cuidados médicos que sirven al paciente.

Como en nuestro país no contamos con un código de este tipo se toma referencia NFPA (Agencia Nacional de Protección contra Incendios) y NEC (Código Nacional Eléctrico).

Notar que siempre el Código standard no se ajusta al nivel de peligro.

NFPA 76B indica 10 microamperios y NEC Art. 517 indica que 40 microamperios es el nivel peligroso.

Es también creible ahora que aproximadamente 1,000 ohms de resistencia existe entre los músculos cardiaco y cualquier parte externa del paciente.

El paciente es un primer blanco para accidentes eléctricos

donde también puede encontrar cuerpos de baja resistencia, más equipos eléctricos y conductores seguros como sangre, orina, sales y agua. La combinación de estos elementos puede ser una advertencia para incrementar la seguridad eléctrica.

#### 1.01. 1 Fugas de Corriente .-

El equipo eléctrico operando en las proximidades del paciente, siempre es peligrosa, la razón de esto es que cada pieza del equipo eléctrico presenta una fuga de corriente, incluyendo la corriente capacitiva acoplada, no destinada a ser aplicada a un paciente, para la cual debe ser transmitida a una parte metálica puesta a un accesorio de tierra o a otra parte accesible de un aparato. Normalmente esta corriente es desviada del alrededor del paciente por medio de un conductor a tierra, como sea que esta corriente va en aumento puede significar peligro para el paciente. Los sistemas son ahora comunmente usados en iguales áreas como : Unidad de Cuidados Intensivos (UCI), Unidad de Cuidados Coronarios (UCC), Tratamiento energético, cuidados especiales, laboratorios cardiovasculares, unidades de diálisis, zonas húmedas, etc.

Sin un apropiado uso de conexión a tierra las fugas de corriente pueden obtener valores de 1,000 microamperios antes que el auxiliar pueda percibir el problema, por otro lado el paciente puede solo necesitar contraer una fuga de corriente de 10 a 180 microamperios para ser dañado. Como resultado de esta fuga de corriente se produce la fibrila

ción ventricular. La fuga de corriente es un agraviador en accidentes de baja corriente eléctrica.

Falla del uso del conductor conectado a tierra cuando es averiado, comunmente esto resulta del uso de dos (2) tapones con espiga y receptáculo, inapropiado uso de adaptadores, uso de dos (2) extensiones de alambre deteriorado.

#### 1.01.2 Códigos y Normas .-

No sería nada práctico reproducir los Códigos y Normas que motivan la aplicación de distribución de sistemas aislantes en Hospitales.

Como se mencionó antes hay un continuo pulido y renovado de estos Códigos con frecuentes correcciones.

Es ciertamente recomendable que todos los Hospitales tengan copia de Normas Standars referentes a corrientes eléctricas y es requisito absoluto que el Ingeniero de diseño tenga una información disponible a la mano.

#### NFPA No. 56 A - 1978

Publicada por NFPA, esta es la Norma Standard para el uso de inhalador anestésico. Es importante anotar que por referencia esta Norma es parte de NEC Art. 517. Esta Norma es aplicada a ambos inhaladores anestésicos inflamables ó no inflamables. Esto es particularmente por 2 razones :

1. La Norma y por consiguiente el Código reconoce y acepta zonas de anestesia diseñados estrictamente para - anestesis no inflamables donde ningún incendio o explosión ocasional imprevista se presente.

2. La Norma enfatiza claramente los riesgos presentes en una zona de anestesia aparente al fuego y explosiones como choques eléctricos y que muchos requisitos de seguridad han sido escritos teniendo esto en cuenta.

Noto una tendencia muy definitiva, por ambos Hospitales é Ingenieros consultores revisan la significancia del punto 1) antes mencionado. Hay muchos Hospitales hoy en día que no usan ningún tipo de anestésico explosivo y no tienen absolutamente la intención de usar algún parecido en el futuro.

Allí parecen pequeñas dudas que algunos nuevos anestésicos descubiertos que sean explosivos puedan tener - gran dificultad en obtener aceptación general y probablemente podría no ser usado en éstos Hospitales.

La causa que nosotros diseñamos las salas de operaciones espera ser usado anestésicos explosivos es porque no sabemos si lo que podría ser descubierta en el futuro, sería o no aceptable sin una debida investigación.

Aquí es donde debe haber una buena comunicación entre el Ingeniero consultor, administración del Hospital y el cuerpo médico es imperativo. El ahorro que puede ser realizado por la eliminación de mecanismos a prueba de explosión es bajo, y por la eliminación de pisos conductivos con sus accesorios relacionados y equipos de prueba, puede ser apreciable.

También se puede considerar el punto 1) cuando tratamos con especial propósito salas como laboratorios - cardio-vasculares (salas de cuidados especiales), Cardiología (operaciones del corazón), Neurocirugía, etc. la tarea médica que se lleva en estas salas requiere - una preponderancia de monitores eléctricos proyectados a ser agregados al paciente simultáneamente, todos estos proyectos de equipos contribuyen a una moderada cantidad de fugas de corriente al sistema total y consecuentemente también requiere un sistema de aislamiento adecuadamente múltiple.

Se ha encontrado que mejores resultados se obtienen en la aplicación especial de salas por aislamiento del panel del sistema de distribución aislado en el mismo cuarto. Si el cuarto esta acondicionado para anestesia explosiva, los paneles pueden ser elevados arriba del nivel de 1.50 metros y llegando a ser inconveniente de usar.

En un análisis completo, será reconocido rápidamente - que varios dispositivos electrónicos que sean usados en estas salas no son aprovechadas en construcciones a prueba de explosiones.

Es más difícil encontrar que los anestésicos explosivos son casi nunca usados en estos procedimientos especiales. El resultado de un estudio minucioso y revisado por todo interesado es generalmente que la mejor manera, en las últimas salas de procedimientos es

peciales es para el uso con anestésicos explosivos so  
lamente.

Se notará en la facilidad de asociar esos Hospitales  
teniendo algunos Centros Quirúrgicos clasificados para  
anestésicos explisivos solamente.

Solamente son aceptados por NFPA No.56A si iguales fa  
cilidades ó asociadas están presentes, todas las par  
tes deberán estar guiados por el apéndice B en NFPA No  
56A y seguir estas Normas cuidadosamente.

Mencionamos ite, 2) desde NFPA 56A enfatiza situaciones  
que aún cuando una zona de anestesia esta acondiciona-  
do para anestésicos no explosivos solamente, puede ser  
equipado con un monitor distribuido en un sistema eléc-  
trico aislado, por una línea de aislamiento del moni  
tor (LIM).

NFPA 56A define estos items en una zona de anestesia -  
que deberían ser generadas de sistemas de aislamiento  
con conexión a tierra.

Párrafo 3.3.8.1 resume éstos requisitos por partes de  
excepciones que pueden ser generadas por sistemas de  
conexión a tierra osea que salas de operaciones son  
diseñadas para usar anestésicos explosivos o anestési-  
cos no explosivos solamente.

Todo dispositivo eléctrico debe ser generado desde el  
sistema aislado excepto de Rayos X, doblementé aislado.

No he encontrado aún algún fabricante que haga apropiadamente una cabina de control de Rayos X doblemente aislado, consecuentemente este debería estar siempre puesto sobre el sistema aislado y teniendo un nivel de 1.50 metros si el salón esta acondicionado para anestésicos explosivos.

Tengase en cuenta también que la excepción a la regla del nivel de 1.50 metros esta hecho en caso de que el tubo de Rayos X y el mando vayan acoplados. La NEC en Art. 517, acepta ahora especificar en el circuito con conexión a tierra suministre energía a un sistema aislado, admitir el área no peligrosa de una zona de anestesia. Esta última expresión dada en Art. 517-63 esta en aparente conflicto con el párrafo 3.3.8.1. Desde NEC revisado en 1975 y la última versión de NFPA No. 56 ocurrida en 1973.

Es seguro asumir que la autoridad del Código Local podía aceptar esta expresión. Una otra precaución en este punto es que el conductor no conectado a tierra y servicio de conductores conectado a tierra no pueden ocupar el mismo tubo conductor ó canal.

Párrafo 3.3.8.3 de NFPA 56A describe la Norma para el uso é instalación de luces fijas de Cirugía colocada en el techo.

Esto fija que deberían ser suministrados desde un sistema de distribución eléctrico aislado con conexión a

tierra.

Párrafo 3.3.8.3 No. 2 establece, "Es deseable operar - la luz de techo de Cirugía desde un transformador de aislamiento separado para evitar interferencias eléctricas de algún dispositivo o reostato regulador siendo suministrado de vuelta al equipo monitor del paciente". Ha sido mi experiencia que solamente dispositivo regulador de estado sólido tiene algunas tendencias a provocar este problema y es solo raramente.

El mas común autotransformador tipo regulador no parece crear algún problema y la expansión de un segundo sistema aislado y sus accesorios asociados es generalmente necesario.

Encontramos como sea, que en estas salas de operaciones donde un gran número de dispositivos electrónicos y otros equipos de gran fuga de corriente es usado, la gran cantidad de fuga contribuido por luces de techo de Cirugía pueden crear la necesidad de un segundo sistema de aislamiento.

Luces en salas Quirúrgicas diseñadas a correr sobre guías de deslizadores son encontradas a prestar la fuga en un sistema aislado.

La mayoría de fugas ocurrían debido al diseño de las guías de aislamiento.

Fabricantes de éstas luces han rectificado esta defi

ciencia de fugas de corriente y estan ofreciendo modelos característicos con fugas razonables (125 nanampios o menos por una luz simple/sistema de guías).

De esta manera eliminando la necesidad por un sistema aislado separado a generar la luz Quirúrgica.

Donde una luz de riel existente crea problemas en proyectos remodelados, "partes de baja fuga" son aprovechados por los fabricantes de luz a corregir esta situación.

Han habido cambios en los requisitos de receptáculos y especial atención debe ser puesta en la sala Quirúrgica donde el receptáculo debe ser tipo a prueba de explosión de diseños especiales para uso Hospitalario.

Es importante anotar que ninguna Norma acepta el uso de hojas paralelas ó receptáculos con ranura, en áreas diseñadas para el uso de agentes anestésicos peligrosos. En las conexiones a tierra que ellos pueden emitir chispas y partículas metálicas calientes bajo condiciones fallidas.

Los puntos mas a menudo indicados para aceptar el uso de receptáculos con ranura de hojas paralelas en forma "U" en áreas diseñadas para el uso de agentes anestésicos no peligrosos solamente son los que eliminarán la necesidad de cables adaptadores (los que son especialmente prohibidos) y eliminar o reducir la inciden-

cia de personal que pueda malograr los conductores.

El primario y el secundario del transformador no puede exceder a 300 volt. en un sistema aislado suplantando una área de anestesia u otras áreas de pacientes de cuidados críticos.

Párrafo 3.3.2.4, establece claramente que un transformador de aislamiento no puede trabajar mas que para una sola, la única excepción de la regla se da en el caso de receptáculos de Rayos X portátiles.

Párrafo 3.3.3.3, traza la regla específica perteneciente a Rayox X rodables.

El circuito conductor secundario debe quedar sin tierra y debe ser provisto con un efectivo dispositivo protector de corriente en ambos conductores de cada circuito múltiple.

Párrafo 3.3.3.1, fija los límites de impedancia de la conexión a tierra de los sistemas de aislamiento y las instrucciones probando determinar el cumplimiento de la Norma.

Se recomienda que el tamaño del transformador de aislamiento se limite a 10 KVA o menos. Para mayores aplicaciones esta limitación podría ser no mayor que 5 KVA. Desde allí es casi seguro que conectado el número de dispositivos requerido mas de un total de 5 KVA podría causar fugas excesivas en el sistema y una situación -

alarmante.

He encontrado que en las salas de operaciones mas sofisticadas la carga del equipo instalado excederá a 5 KVA, para esto se sugiere que las especificaciones del transformador de aislamiento esté acondicionado para 5 KVA y tenga una continua capacidad de sobrecarga de 25 a 50%. De esta forma, el transformador será diseñado en forma segura que operará en una relativamente normal temperatura fría y todavía tendrá capacidad de mejorar demandas futuras para equipos que excedan las Normas de hoy.

Los conductores del sistema de aislamiento con conexión a tierra son coloreados de acuerdo con el párrafo 3.3.3.4, Naranja para el conductor "1" , marrón para el conductor "2" y verde ó amarillo para el conductor de tierra.

Párrafo 3.3.4, describe las líneas de aislamiento del monitor (detector sin tierra) requerida para el sistema de aislamiento del monitor.

El límite para el sistema total del peligro esta puesto en 5 miliamperios.

## 1.02 Peligros Eléctricos debido a Electricidad Estática .-

### 1.02.1 Descargas Electroestáticas

La descarga electrostática es una causa común en circuitos microelectrónicos produciendo descargas bruscas. Algunos de estos dispositivos pueden ser seriamente dañados o destruidos por la descarga resultando desde un voltaje electrostático tan bajo como 20 voltios.

El siguiente estudio discute las causas de electricidad estática y el mecanismo de desconexión brusca de la descarga electrostática que son sensibles al dispositivo. La prevención y eliminación de descargas electrostáticas excesivas también están consideradas. Los circuitos microelectrónicos son sensibles a cargas electrostáticas.

Entre los dispositivos usados, comunmente la sensibilidad más alta tiene los semiconductores de óxido metálico (MOS) en los circuitos integrados y el campo de los transistores (FET'S). Un número creciente de éstos dispositivos estan siendo usados en equipos de telecomunicaciones.

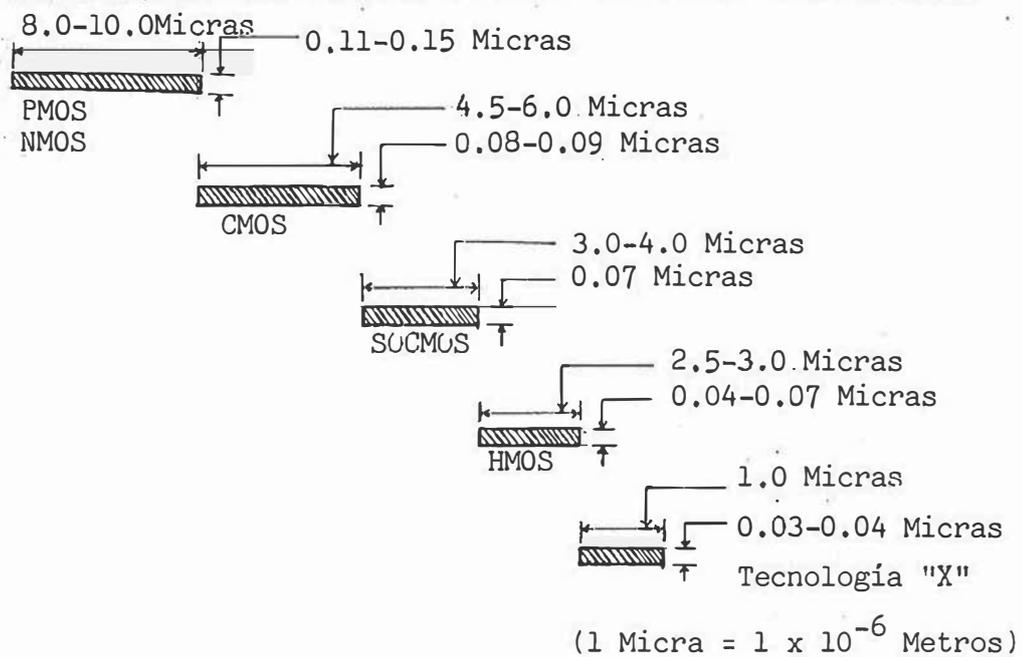
Como se reportó en algunos recientes estudios del Demodulador, integración de escala muy larga (VLSI), la tecnología esta produciendo circuitos integrados con densidad creciente en paquetes, complejidad y velocidad funcional. Estos dispositivos nuevos son aún mas sensibles para descargas electrostáticas que sus predecesores Microprocesadores (Codificadores y Decodificadores). Son productos típicos VLSI usados extensamente en equipos de comunicaciones.

Durante los últimos años han sido muchos e importantes los avances tecnológicos producidas en las tecnologías de fabricación de semiconductores. Como resultado, hoy en día se dispone de elementos más rápidos, de mayores densidades más pequeños y con menor consumo de energía.

Uno de los aspectos que ha permitido estos avances ha sido la tendencia a la reducción de las capas de óxido. En efecto, esta reducción es en parte la que proporciona mayor rapidez de respuesta y, lógicamente la reducción del tamaño del semiconductor. No obstante, esta reducción en las capas de óxido, afecta negativamente a la sensibilidad del semiconductor frente a la electricidad estática, ya que, por ejemplo, cuando un componente MOS sufre una descarga electrostática es por las capas de óxido por donde se deteriora.

Como conclusión, podemos afirmar que a medida que los semiconductores se vuelven más sofisticados, también se vuelven más sensibles a la electricidad estática. De ahí que los niveles de protección deben ir cambiando, ya que lo que podía parecer suficiente hace 10 años, puede no serlo hoy.

Cuadro de Sección de óxido según el tipo de tecnología



Durante algunos años, llegó a pensarse que los únicos componentes sensibles a la electricidad estática eran los CMOS. En la actualidad he tratado de hacer un estudio del comportamiento de diferentes tipos de componentes y he resumido - en el siguiente cuadro, teniendo en cuenta aquellos que son sensibles, así como sus umbrales de sensibilidad.

TECNOLOGIA	UMBRAL DE SENSIBILIDAD (Voltios)
VMOS	30 - 1,800
MOSFET	100 - 200
GASFET	100 - 300
EPROM	100
JFET	140 - 7,000
SAW	150 - 500

TECNOLOGIA	UMBRAL DE SENSIBILIDAD (Voltios)
AMPLIFICADORES OPERACIONALES-AMP	190 - 2,500
CMOS	250 - 3,000
SCHOTTKYDIODES	300 - 2,500
RESISTENCIAS DE FILM	300 - 3,000
TRANSISTORES BIPOLARES	380 - 7,000
ECL	500 - 1,500
SCR	680 - 1,000
SCHOTTKYTTL	1,000 - 2,500

Estos umbrales, corresponden a aquellas tensiones bajo las cuales el componente queda totalmente destruido. No obstante, la experiencia demuestra que a tensiones del 25% de las indicadas, el comportamiento puede quedar afectado, de gradarse y ocasionar fallas en el sistema.

Merece la pena conocer los potenciales creados por un operario mientras realiza diferentes funciones en su puesto de trabajo.

ACCION	POTENCIALES ELECTROSTATICOS (Voltios)	
	10-20% de Humedad Relativa.	65-90% de Humedad Relativa
- Caminar sobre moqueta	35,000	1,500
- Caminar sobre vinilo	12,000	250
- Operario trabajando normalmente.	6,000	100

Realmente la operación de sistemas confiables está a menudo dependiendo sobre el funcionamiento propio de estos "Circuitos sobre un Ship". Puesto que el circuito puede ser dañado por una descarga de electricidad estática trabajando personalmente con o manipulando el contenido del equipo de éstos puntos, mostrando estar familiarizado con estas causas y previniendo acumulación de potenciales electrostáticos y descarga.

Así tenemos los equipos de computación, etc. que contienen circuitos y componentes que pueden malograrse cuando están sujetos a varias corrientes de interferencia electromagnética (EMI) una de estas es la descarga electrostática (ESD)

Este equipo sensible incluye, además de otros :

- Entrada de datos y terminales de inteligencia
- Procesador Central
- Estación de procesador de palabras
- Minicomputadoras
- Unidad de discos magnéticos
- Impresor de computadoras, todos los tipos.

Cada uno de estos aparatos tienen control electrónico y circuitos de lógica los que pueden malograrse o ser dañadas por corrientes indeseadas causadas por descargas electrostáticas. Este daño puede tener varias consecuencias serias además del daño al que se somete a la máquina.

Por ejemplo :

- Un terminal puede mandar datos erróneos al computador principal ó perder los datos totalmente. Esto puede ocurrir con los puntos de salida de los terminales de datos o cajas registradoras electrónicas.
- Puede alterarse la memoria en el computador principal, causando errores semejantes, o igualmente la pérdida de un programa.
- Los impresores pueden imprimir demasiado, mutilar datos, ó "correr salvajemente" tirando el papel.
- La unidad de disco puede "escribir" datos incorrectos en el disco.
- Puede tomar horas reparar el equipo dañado, resultando muy costoso el tiempo que se invierte en esto.

El problema del funcionamiento de la máquina/sistema debido a la interferencia electromagnética es particularmente cuando ocurre la descarga electrostática.

Aunque la descarga estática puede durar cada una menos de una milésima de segundo; puede detectarse fácilmente las características de su interferencia con un equipo sensible y que resulta en mal funcionamiento o daño.

Esta reacción susceptible del equipo puede atribuirse a cualquier aspecto directo o indirecto de la descarga electrostática.

1. Descarga Directa.- Ocurre cuando el voltaje estático es descargado directamente al equipo. El nivel de estática puede ser generado inicialmente por personal de operación

o por el movimiento de equipo como escritorios, sillas o me  
sitas rodantes que están en contacto con el equipo.

El impulso eléctrico causado por la descarga electrostática viaja a través del equipo y a través de los equipos sensiti  
vos que detectan el impulso, resultando en un mal funciona-  
miento operativo.

Otra descarga que específicamente afecta el desempeño de  
las máquinas que inicialmente estaban sujetas a la descarga  
es la porción del impulso de la descarga electrostática que  
puede acoplarse a otras unidades del sistema a través de  
los cables de energía o transmisión de datos, causando que  
el equipo interconectado funcione mal, aunque pareciera que  
esta bueno.

2. Descarga Indirecta. - Ocurre cuando la descarga estática es  
descargada a una estructura o máquina que es adyacente al  
equipo en lugar del mismo equipo. Ejemplo de este equipo  
adyacente son las sillas y escritorios de metal (o con bor  
des metálicos ), gabinetes de archivo, etc.

Cuando el impulso de la descarga electrostática es aplicada  
a la estructura que están colocadas en una proximidad cerca  
na al equipo de computación, la estructura adyacente puede  
actualmente irradiar el impulso de la ESD de manera muy si  
milar a la antena de transmisión de una estación de radio.

El campo de radiación puede propagarse como una onda de ra  
dio al equipo electrónico, acoplándose dentro de los circuiti

tos y cables (los cuales actúan como receptores de radio) causando malos funcionamientos.

Los fabricantes de equipos electrónicos generalmente procuran proteger sus circuitos sensibles de la energía producida por la EMI, pero ningún equipo es totalmente inmune a interferencias extrañas.

Las estructuras metálicas para el equipo pueden ser útiles, pero la EMI puede propagarse dentro de los circuitos, debido a las irregularidades en el almacenaje (la estructura que los contiene) como ranuras en tableros y ambientes.

Las cubiertas de plástico moldeado pueden prevenir descargas estáticas directa debido a sus propiedades aislantes, pero pueden causar reacciones indirectas por medio de detección o absorción de campos de radiación, puesto que las cubiertas de plástico protegen mínimamente al equipo de la EMI. También interconectando los cables del sistema de datos, puede evitarse la interferencia indirecta, sin tomar en cuenta el tipo de superficie con que están provistas las unidades.

Algunos fabricantes de equipos han manifestado que niveles de ESD (Descarga de electricidad estática) de 1,000 voltios han causado mal funcionamiento en sus sistemas. Observaciones hechas indican que la habilidad de muchas personas para percibir las ESD puede disminuir entre los 1,500 y 3,500 Voltios.

De este modo, algunos equipos electrónicos pueden malograrse

debido a la ESD sin que uno se de cuenta que lo provocó (el mal funcionamiento) puesto que la ESD no fue necesariamente percibida.

Investigaciones de la industria electrónica han determinado que el nivel de estática puede alcanzar 25,000 voltios ó más, en condiciones de relativa baja humedad interior, donde alfombras y forros de alfombras son causados.

Aún las superficies de pisos con baldosas a base de vinyl han sido conocidas por producir cargas de estática de 10,000 Voltios.

Un método rápido y seguro de mejorar el buen funcionamiento del sistema de computación, es controlar los niveles de estática alrededor del equipo. Simplemente, la ESD relacionada con malos funcionamientos de las máquinas puede ser eliminada si los niveles de estática son eliminados.

Las cubiertas conductoras Velostat ofrecen un rápido y conveniente método de asegurar que el personal de operación no cause desperfectos en el equipo de computación. La cubierta ataca el problema en su origen, el portador de la carga estática. La cubierta es también una solución para lo cual significa que el personal no necesita estar recordando ningún procedimiento de control de estática para ellos, excepto el usar zapatos de suela de cuero.

La colocación apropiada de la cubierta del conductor eléctrico, asegura que el operador pueda caminar sobre la cu

bierta que toca el equipo de computación.

Algunas de las típicas aplicaciones para estas cubiertas, incluyen las siguientes :

1. Alrededor de los terminales de la entrada de datos, terminales POS, minicomputadoras, procesador de palabras, etc. donde los operadores pudieran caminar sobre la cubierta que está en contacto de la máquina.
2. Como un sistema de drenaje la entrada de las salas de computación, para apartar la estática de los visitantes
3. Como un sistema de drenaje a la línea de máquinas, como los discos o unidades de discos magnéticos y cintas magnéticas.
4. Alrededor del equipo sensible en la sala de computación donde la presencia de personal de operación es frecuente terminales de datos, impresoras, unidades de discos magnéticos, etc.
5. En las salas de reparaciones y/o en ensamblaje de equipos.

#### 1.02.2 Causas de Electricidad Estática.-

Electricidad estática es energía a permanecer cuando dos sustancias están frotándose a la vez, después separadas las sustancias en contacto originan corriente relativa de una a otra, una de las sustancias acumulará electrones y la otra renunciará a ella. La sustancia en la cual los electrones están acumulados se cargarán negativamente.

La sustancia la cual los electrones renuncian están cargados positivamente. Las cargas son iguales y opuestas.

Un campo electrostático es generado entre dos objetos con número diferente de electrones (potenciales electrostáticos). enteramente campo electrostático del objeto será cargado - por inducción. Suficiente voltaje puede ser generado por una sola inducción. Casi cada uno es familiar con la generación de electricidad estática por frotación. Esto es conocido como el "efecto triboeléctrico". Una serie Triboeléctrico ha sido establecido con una lista de sustancias en el orden de su habilidad para ser cargadas positivamente o negativamente (Ver tabla No. 1).

Una sustancia será cargada positivamente cuando frote con una sustancia disminuida sobre la lista. Ver tabla No. 1. La magnitud de carga electrostática es proporcional a la separación entre los dos materiales sobre la lista Triboeléctrica. Los conductores no contendrán la carga dentro de una área localizada, pero un conductor disipará la carga sobre su superficie y la superficie de otros conductores con la cual entrará en contacto, tierra por ejemplo. El revestido hecho de materiales sintéticos puede generar grandes voltajes electrostáticos como resultado de movimientos normales por su usador. Estos voltajes son una de las causas principales de daños para componentes sensibles de descargas electrostáticas.

Estas son imperceptibles para la persona humana, si el pro

medio de la descarga es menor que 3,000 voltios.

En efecto un cuerpo humano acumulará sustancial cargas electrostáticas mucho tiempo durante actividades normales.

TABLA No. 1

POSITIVO



Acetato  
Vidrio

Nylon  
Lana (vellón)  
Piel para abrigo o adornos  
Aluminio  
Poliéster  
Papel  
Algodón  
Madera  
Acero  
Fibra de acetato  
Niquel, Cobre  
Plata  
Bronce, Latón  
Caucho  
Acrílico  
Espuma de poliestireno  
Espuma de poliretano

Polyetileno  
Polypropileno  
PVC (vinil)

NEGATIVO

Teflón

La Tabla No.2, muestra cargas potenciales generadas por actividades poco simples.

ACTIVIDAD	VOLTAJE GENERADO (Voltios)
- Piso de alfombra	1,500 a 35,000
- Piso de vinilico puesto al suelo	250 a 12,000
- Piso sobre banco o mesa de trabajo	100 a 6,000

El amplio rango de potenciales para cada actividad, es debido a diferencias en lo relativo a la humedad, éstos efectos de la humedad será discutivo mas tarde.

Sustanciales cargas electrostáticas pueden también ser generadas entre dos objetos del mismo material, así ellos están en contacto íntimo y repentinamente se separa. Plásticos de igual material es un ejemplo. Empaquetando y desempaqueando son actividades donde éste tipo de generación puede ocurrir. Algún consecuente daño hacia los componentes quizá no esta realmente aparente y el tiempo de ocurrencia pueda estar difícil de determinar, particularmente si las unidades han estado provistas alguna vez de la instalación.

Objetos cargados descargan dentro de la atmósfera, el tiempo requerido para la descarga es inversamente proporcional a la cantidad de vapor de agua en el aire. Una película de agua sobre un objeto causa una cobertura antiestática.

Para todos los propósitos prácticos, los electrones pueden regresar al objeto antes de cargarse positivamente, así un potencial electrostático no suele desarrollarse.

Bajo circunstancias ordinarias, cargas estáticas rápidamente pueden arrancarse dentro del aire, si la humedad relativa es 25% o mayor. Cuando la humedad relativa cae bajo del 25%, el peligro de descargas electrostáticas aumenta.

Una humedad relativa de 25% a 40% es óptima.

Altas humedades grandemente reducen los riesgos electrostáticos pero esta ventaja es peligrosa por el aumento posible de corrosión y otros daños el cual resulta de excesiva humedad.

Dos tipos de fallas, catastróficas y latentes pueden resultar de una descarga a través de un mecanismo sensible a cargas electrostáticas (ESD).

Es sobre entendido, catástrofe son fallas que suceden repentinamente y el mal funcionamiento es inmediatamente aparente.

De otro lado, mal funcionamiento aparente cuanto una falla latente ocurra. El mecanismo deteriorado puede parecer estar en buenas condiciones de operación, pero el mal funcionamiento del circuito ocurrirá al mismo tiempo.

a) Mecanismo de fallas catastróficas .-

Una descarga electrostática puede cortocircuitar equipos o dispositivos que contiene un conductor separado de una región acanalada o separada por un dieléctrico delgado con una resistencia baja para terminales externos. Un transistor MOS contiene puertas metálicas separadas de una región acanalada por una capa de óxido metálico de 800 a 1,000 Angstroms de espesor (un Angstrom es  $10^{-10}$  metros). Un potencial electrostático de suficiente magnitud puede sufrir averías al dieléctrico de óxido metálico y descargar a través de éste. La perforación resultante será metalizado por consiguiente cortocircuitado, el transistor resulta tener fa

llas catastróficas.

Muchos amplificadores operacionales IC'S tienen conectado un capacitor MOS directamente a un terminal. Un voltaje electrostático puede destruir al dieléctrico y causar al mismo tiempo un tipo de cortocircuito por el transistor, por tanto resulta una falla catastrófica.

El montaje de la unión bipolar P-N también puede ser dañado por descargas electrostáticas. Una unión Base-Emisor es usualmente fundido parcialmente por la descarga, cortando y ocasionando fallas catastróficas.

Una descarga electrostática de suficiente magnitud puede también dañar el filamento de los resistores.

Los cristales microscópicos formando películas, son fundidos y producen pequeñas desviaciones la cual cambia la resistencia efectiva.

El mecanismo de falla por ESD en otros aparatos sigue los mismo modelos de destruir el dieléctrico fundiendo los metales.

b) Mecanismo de Fallas Latentes .-

Descarga electrostática puede causar averías al dieléctrico en un transistor natural, cuando la corriente no es limitada, el dispositivo puede aparecer estar bien, pero actualmente tendrá un minúsculo agujero en la puerta del óxido metálico. Eventualmente, el metal migrará a través del agujero y causará un corto circuito. La falla latente

puede también ocurrir en dispositivos MOS cuando una corriente altamente limitada, ocurre que el dieléctrico puede sufrir averías. Nuevamente el dispositivo muestra estar bien, pero el voltaje del dieléctrico averiado puede estar reducido tan bajo como una tercera parte de su valor original.

### Factores Humanos

Las personas son la mayor causa de daños por descargas electrostáticas en dispositivos mecánicos. Una persona cargada con cargas electrostáticas puede dañar el equipo por descarga a través de un voltaje inducido contenido en él.

La línea de descarga para un cuerpo humano es una corriente con resistor limitante en serie con un capacitor para el almacenamiento de la carga.

La contribución del cuerpo hacia la descarga mediante una línea con impedancia de resistor no inductivo. Una simplificación del circuito equivalente se muestra en la figura No. 1.

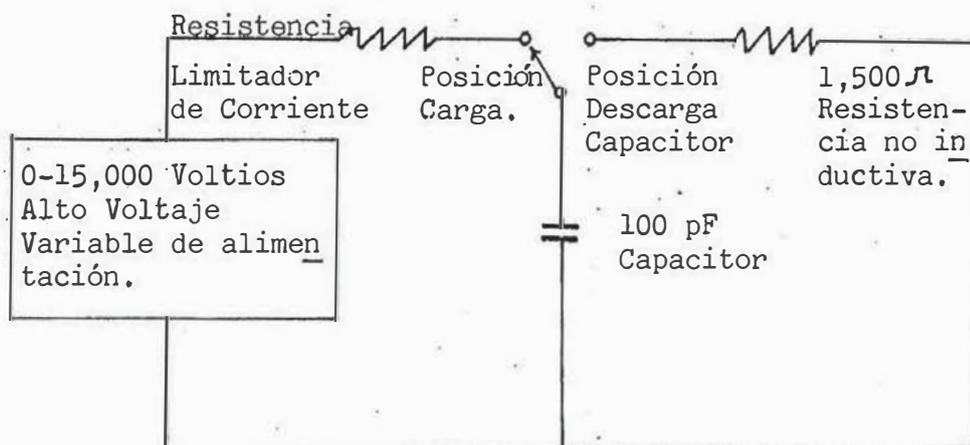


Fig. No. 1 Simplificación del circuito equivalente humano

El rango de capacitores típicos para cuerpos humanos es de 50 a 250 picofaradios pero puede ser tan alta como varios miles. La resistencia no inductiva humana es usualmente 100 a 1,500 ohm. pero puede extenderse hasta 100,000 ohm. Los capacitores pueden ser cambiados por diferentes factores como variaciones en posición, vestimenta y piso de los materiales.

El amplio rango de la resistencia humana es debido a las variaciones en la humedad, composición de aceites y el cuerpo sudoroso conductivo

La piel callosa seca tiene la mas alta resistencia.

El siguiente estudio discute como las variaciones en capacidad y efecto de resistencia de carga y descarga electrostática de un circuito RC. Primero consideramos una ecuación simple para la carga de un capacitor.

$$\text{Ecuación 1} \quad Q = C E$$

Donde

Q = Es la carga en columbios

C = Es la capacidad en Faradios

E = Es voltaje aplicado en voltios.

De la ecuación es aparente que un capacitor largo o grande no requiere un voltaje tan alto como uno pequeño para acumular una carga dada. Desde el punto de vista físico, la carga es considerada para ser almacenado en líneas electrostáticas de fuerza entre las capas de un capacitor.

La capacitancia es directamente proporcional al área de las placas, así para almacenar una carga dada, un capacitor grande requiere muy poca fuerza por unidad de área que otra pequeña.

La densidad de la línea de fuerza por unidad de área es una función del voltaje (potencial electrostático) a través de las placas. Así el almacenamiento de la carga dada, un pequeño capacitor requiere mas alto voltaje que uno grande.

La capacitancia es inversamente proporcional al grosor del dieléctrico. Sin embargo, los dieléctricos más delgados tiene un bajo voltaje de rotura que los dieléctricos gruesos del mismo material.

Esto explica la sensibilidad de los capacitores CMOS para descarga electrostática. La relativa capacitancia alta y baja tensión límite de ruptura de capacitores electrostáticos, comparado con las cintas de mica o cerámica es otra ilustración de la relación entre espesor del dieléctrico, capacitancia y tensión límite de ruptura.

Cambiando la capacidad de un cuerpo cargado, mientras haciendo la carga constante, resulta el voltaje. Esto es aparente realidad cuando en la ecuación No. 1 algún cambio en "C" cambiará la ecuación de  $Q/C$  el cual es el valor de "E".

Ecuación No. 2       $E = \frac{Q}{C}$

Cuando la capacitancia es reducida, el voltaje aumentará y puede causar un arco.

La capacitancia de una persona humana es una función de la posición del cuerpo relativo hacia otros objetos. Luego la capacitancia puede ser cambiada por simples movimientos.

El tiempo requerido para la carga o descarga de un capacitor es proporcional a la resistencia en la trayectoria. Aumentando la resistencia límite de corriente de carga o descarga con la cual aumenta el tiempo requerido.

Tabla No. 3. Cambios de capacitancia en una persona en movimiento.

DESCRIPCION DEL MOVIMIENTO	CAPAC. INICIAL	CAPAC. FINAL	% VARIACION
- Persona sentada, incorporarse o ponerse en pie, en un pie.	192	163	15% decrece
- Persona sentada, levantarse picando con los dos pies juntos.	192	129	33% decrece
- Persona sentada, inclinándose moviendo la silla (silla con respaldar).	192	184	4% decrece
- Persona parada, ponerse en un solo pie.	167	141	16% decrece
- Persona sentado, levantarse poniéndose de pie en forma normal.	192	167	13% decrece

c) Prevención .-

Es mejor realizar el movimiento estático del medio ambiente que contar con aparatos de protección el cual no puede

de ser efectivo. El diodo ZENER mayormente no puede actuar lo suficientemente rápido para proteger los componentes más sensibles. El uso de difusores y resistencias limitadoras esta restringido para los voltajes que pueden ellos soportar.

También los circuitos sometidos a protección reduce el funcionamiento de un dispositivo. Esto puede ser una pesada pena aplicaciones donde se requiera un alto funcionamiento.

Esto es para decir que los circuitos protectivos estan en desuso, algunos dispositivos sensibles a descargas electrostáticas con conexión externa deben tener un trabajo neto - protectivo. La entrada del daño normal de 20 a 80 voltios, puede ser aumentada a 500 ó 800 voltios por circuito protectivo. También, algunos aparatos sensibles conteniendo dispositivos sensibles muestran tener adecuada puesta a tierra de todo control los cuales requieren contacto humano.

Sin embargo, el mejor camino hacia la prevención de daños electrostáticos es mantener un ambiente libre de carga estática al rededor de los dispositivos sensibles en todo el tiempo.

Materiales conductivos y anti-estáticos son usados para proteger los equipos, los materiales conductivos son metales - revestidos a base de carbón impregnado.

Carbón plástico impregnado es uno de los más populares materiales conductivos.

Materiales anti-estáticos son generalmente plásticos los cuales han sido impregnado con una sustancia anti-estática tales como el detergente. La sustancia migra a la superficie del plástico y se combina con la humedad en el aire para formar una capa conductiva resbaladiza y ligera. Esta capa previene la reconstrucción o formación de cargas electrostáticas.

Componentes ESD son generalmente cerrados en materiales conductivos o antiestáticos para transporte y almacenamiento.

Barras cortas, ganchos cortos y "espumas" son usados para cortar las conexiones.

Espuma es un carbón plástico impregnado. Es apto en varias densidades y grados de flexibilidad.

Atención particular debería tener para prevenir un ambiente libre de cargas estáticas para las áreas de trabajo donde los dispositivos sensibles a cargas electrostáticas son manipulados. Todo material conductivo en estas áreas deben estar conectado a tierra.

Desde que el cuerpo humano puede actuar como conductor, también debe ser conectado a tierra. Esto se realiza mediante el acoplamiento de una correa conductiva a la muñeca del brazo. La trayectoria desde el 'punto de contacto de la piel hacia el piso debería contener una resistencia, para evitar fuerte callosidad en la persona ó equipo.

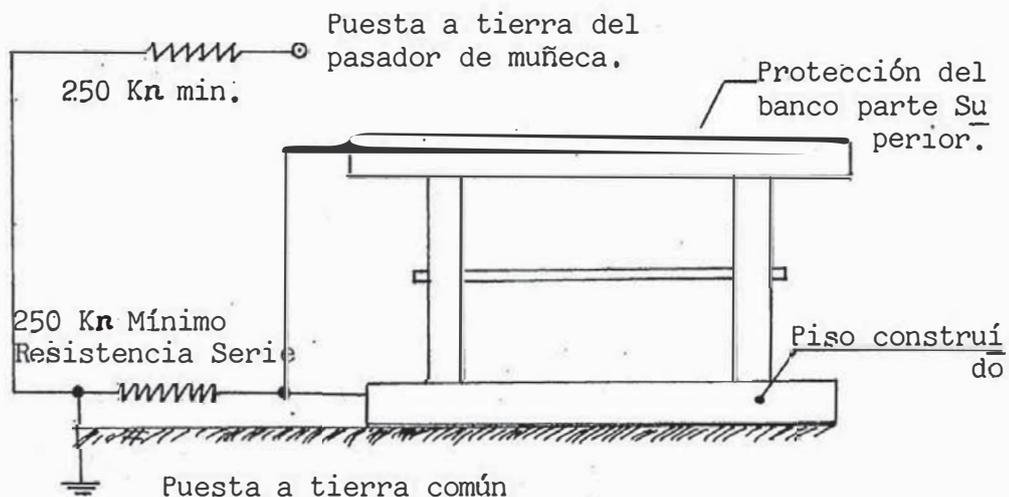
La resistencia debería ser localizado junto a la muñeca para evitar desviamiento accidental de la resistencia y proviniendo una descarga hacia tierra. Una resistencia entre 250 Kohm. y 10 Megaohmios es posible para más instalaciones. Una resistencia de un (1) Megaohmio debe ser usado comunmente.

El criterio para la resistencia mínima es para limitar la corriente de escape máximo de 5 miliamperios, si la persona usando la correa camina en contacto con el más alto potencial en la estación de trabajo es ventajoso.

Estas mismas precauciones aplicadas a las líneas de tierra para superficies y equipos de trabajo. En otras palabras todas las conexiones deberán ser para el mismo potencial de referencia y no para una tierra de alta resistencia.

La Fig. No. 2. Ilustra éste principio.

FIGURA No. 2



El criterio para la máxima resistencia de una tierra resistente es determinado por el decaer del tiempo para una carga electrostática.

El decaer del tiempo esta basado sobre el capacitante y la resistencia del circuito equivalente humano mostrado en la Fig. No. 1.

Este tiempo deberá ser suficientemente corto para disipar so brecargas o asegurar que, el valor de ellos están generándose normalmente.

Un tiempo de descarga de un segundo o menos es demasiado cor to. El valor ohmico de la resistencia de la tierra dura (al ta resistencia) deberá ser seleccionado, asi un segundo es igual a 5 tiempos constantes. Un capacitor será descargado 99.3% en un periodo de tiempo constante.

• Un tiempo constante es definido como :

$$T = RC$$

Donde :

T = Es en segundos

R = Es en ohmios

C = Es en Faradios.

La resistencia mínima 250 Kohmios mencionado anteriormente limitará la corriente de escape a 5 miliamperios o menos pa ra la fuente arriba los 1200 Voltios.

Sin embargo, valores altos son generalmente usados en correas pasador de muñeca para prevenir un extra o seguridad. Un (1)

Megaohmio es típico. Los 10 Megaohmios máximos limitará el voltaje residual de generación estática aproximadamente a 10 Voltios, en una estación de trabajo.

La resistencia esta seleccionado para limitar la corriente, desde el más alto voltaje de origen a 5 miliamperios y generadores estáticos tienen muy alta impedancia interna, la resistencia va a disipar mucha potencia. Una resistencia de un Watt es más que adecuado.

Una puesta a tierra no conductora no va prevenir protección en contra de descargas electrostáticas. La corriente no puede fluir en un aislador, así si se tiene plataformas de trabajo, cajas plásticas, vestimentas, etc. estas pueden acumular cargas sustanciales las cuales puestas a tierra no se disipan.

Como está previamente manteniendo una humedad relativa de 25 a 40% permitirá que éstas cargas estáticas se disipen dentro del aire o medio ambiente. Sin embargo, la humedad mantenida en estos niveles no es siempre factible. En este caso un ventilador de aire ionizado es recomendado.

El ventilador suministra un constante chorro de iones positivos y negativos. Objetos cargados se neutralizan ellos mismos por atracción y teniendo iones de la carga contraria, iones se combinan y recombinan en forma inusitada con otros materiales es la estación de trabajo.

Un ventilador iónico no es un mecanismo o aparato para descargar una persona.

La capacitancia del cuerpo humano es mucho mas grande que la mayor parte de los demas no conductivos. El tiempo requerido para una reconstrucción electrostática y descarga podría ser más corta que este tiempo de neutralización.

Sin embargo colocando la mano frente a un ventilador y corriendo el aire ionizado continuamente hacia arriba y abajo es una protección razonable.

Se deberá tomar las precauciones necesarias para evitar si tuar estos equipos sobre una superficie conductiva conectada al piso a través de una resistencia.

Una acción podría desviar la resistencia y crear una línea directa hacia la gran resistencia de la tierra. Esto podría ser riesgoso para el personal.

En efecto, las precauciones deben ser siempre observadas cuando se emplea trayectorias paralelas al suelo. El personal debería siempre estar enterado de posibles riesgos envueltos en estas situaciones.

Metales (rejillas) conductivas deberán ser usados para cubrir el piso en la vecindad de una estación de trabajo, particularmente si el área esta rodeada de alfombras.

Los metales (rejillas) deberán extenderse suficientemente le jos, de tal manera que la superficie de trabajo no podría ser alcanzado estando parado sobre ellos, los metales deberán ser conectados a tierra a través de una resistencia del mis mo valor usado para la superficie de trabajo y correa de la

muñeca.

De la discusión previa, es aparente la adecuación de la tie  
rra y neutralización de cargas son básicos para mantener un  
ambiente libre de carga estática.

Una tercera manera preventiva es para guardar materiales de  
producción estática lejos de las áreas donde los puntos sen  
sibles de cargas electrostáticas son manipulados.

Algunos materiales de producción estática son :

- Plásticos comunes
- Alfombras
- Nylon
- Las cosas que se deben evitar en una estación de trabajo,  
incluye herramientas con plástico o aisladores manuales.

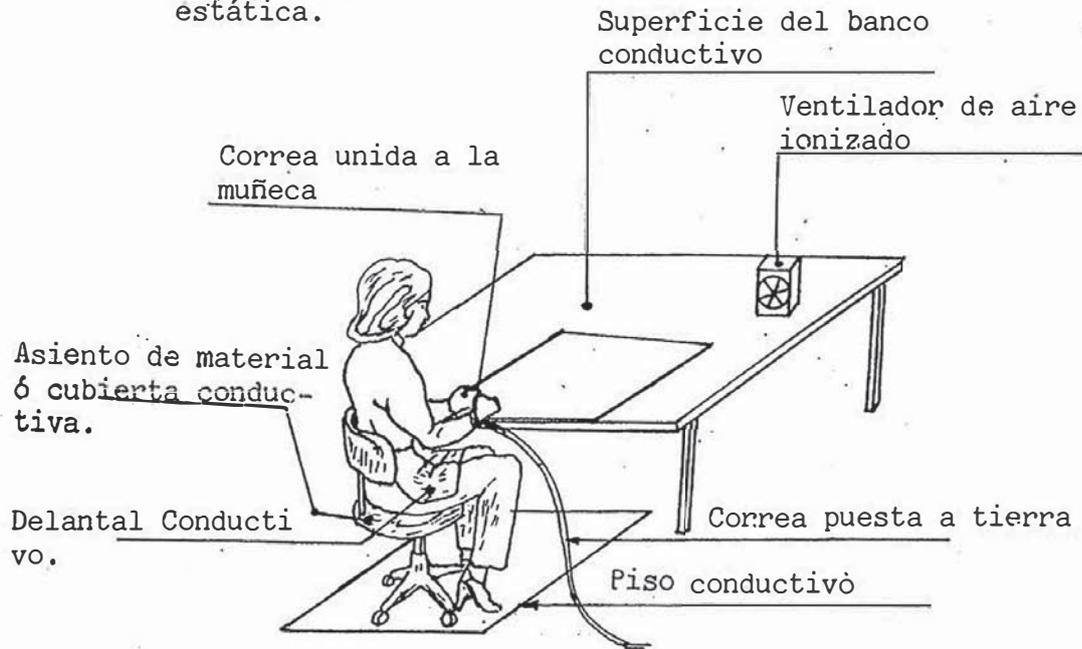
La conexión a tierra se hace soldando planchas y barrenos, la  
unión común se succiona y limpia, particularmente esto se  
hace con seda sintética.

TABLA No. 4

Muestra la lista de algunos de carga típica, la cual debería ser excluido del área de trabajo.

SUPERFICIE DE TRABAJO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fórmica (liso o altamente resistivo)</li> <li>- Buen acabado</li> <li>- Material sintético</li> </ul>	Embalando los materiales manualmente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bolsas comunes de Polietileno, abrigos, envolturas.</li> </ul>
PISOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Acabado encerado</li> <li>- Vinílico.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Embalaje común haciendo burbuja en forma de espuma.</li> </ul>
VESTIDOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cuarto común de ropa limpia.</li> <li>- Prendas personales (todo material textil excepto cubiertas de algodón de pelusa sin utilizarse)</li> <li>- Zapatos no conductivos.</li> </ul>	Reunión Limpiando, Probando y reparando puntos del área.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Limpiando por rocío.</li> <li>- Soldadura común de fierro</li> <li>- Moviendo apresuradamente un disolvente (sintéticos - erizados)</li> <li>- Lavando, desecando.</li> </ul>
SILLAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Buen acabado</li> <li>- Vinyl</li> <li>- Fibra de vidrio.</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura del cuarto.</li> </ul>

FIGURA No.3, Muestra una estación de trabajo libre de carga estática.



Particularmente todas las fabricaciones con la excepción del algodón no tratado, son generadores de cargas estáticas así la mayor parte de vestimentas es un potencial de riesgo.

Zapatos con suelas aislantes, tales como crepe engomado (goma) o corcho, previene descargas a través de la rejilla del piso conductor. El personal debería cubrirse con camisas antiestáticas y vestido de adecuado uso para el pie o a lo mucho requerirá el uso de mangas del brazo cortas y de cuero conformando la composición del zapato.

La efectividad de las estaciones de trabajo libre de carga estática debería ser verificado.

Megohmetro y voltímetro electrostático son los mejores instrumentos para este propósito.

Muchas cosas pueden empeorar la efectividad de la estación

de trabajo. La conductividad de las rejillas (metales) en el piso y superficie de trabajo puede ser reducida por en suciamiento o combinación. Las conexiones en el piso pue den ser rotas por error, accidente o simplemente deprecia- ción por uso.

Probablemente la más importante y única cosa que puede ser hecha para prevenir daños por descarga electrostática es la educación del personal quienes lo manipulan. Entrenam iento de instaladores y técnicos en el campo es particularm ente importante desde mantenimiento del medio ambiente li bre de cargas estáticas.

Un poco de precauciones puede ser con ejercicios :

- Trabajadores que no usen correas de conexión a tierra, se deberían siempre ellos mismos conectarse a tierra antes de manipular los dispositivos de los equipos.
- La acción de los generadores estáticos deberían ser evitados mientras los dispositivos trabajan o mientras en áreas donde tales equipos están localizados.

Acciones para ser evitados incluye :

- a) Frotándose los pies
  - b) Poniéndose o sacándose las vestimentas
  - c) Frotándose las manos juntas a la vez
  - d) Equipos en movimiento, cajas de herramientas, contenedor de plástico y puntos similares por deslizamiento.
- Herramientas y equipos de prueba deberían ser propiamente conectados a tierra.

Las herramientas de mano deberían ser metálicas y no te  
ner aislado el mango (aluminio anodizado es considerado  
para ser un aislador).

El precedente de precauciones generales se aplica para to-  
das las actividades en áreas donde los aparatos están loca-  
lizados.

Las siguientes precauciones se aplican para trabajos insta-  
lados en envolturas.

- Efectuar pruebas de diagnóstico con una unidad de instala-  
ción y potencia de salida. Todas las conexiones deberían  
ser propiamente hechas.

Las señales de potencia no deberán ser aplicadas en cir  
cuitos MOS ó equipos FET.

## CAPITULO II

### 2. DISEÑO DE PUESTA A TIERRA PARA SALA DE OPERACIONES Y CUIDADOS ESPECIALES EN HOSPITALES

#### 2.00 Conexión a Tierra

El sistema de puesta a tierra en sala de cuidados de pacientes y en zonas de anestesia es un ingrediente importante en salvaguarda contra Shock y electrocución. Una tierra apropiada provee un medio para disipar cargas estáticas y desviar fallas de corrientes y fugas de corrientes normales fuera de los aislantes.

Conexión a tierra en áreas de cuidados de pacientes y entorno de zonas de anestesis abarca los siguientes :

- Conexión a tierra equipotencial
- Sistema de alambrado permanente
- Cordones externos conectados a tierra

El conductor a tierra provisto en un equipo de energía evita potenciales estáticos en las edificaciones a altos valores peligros en partes que no llevan corrientes tales como cubiertas, estuches y cajas de aparatos eléctricos. Si estas partes no están propiamente a tierra, una carga estática podría acumularse a algún grado y puede llegar a un valor tal que automáticamente descargará en forma de una chispa eléctrica estática.

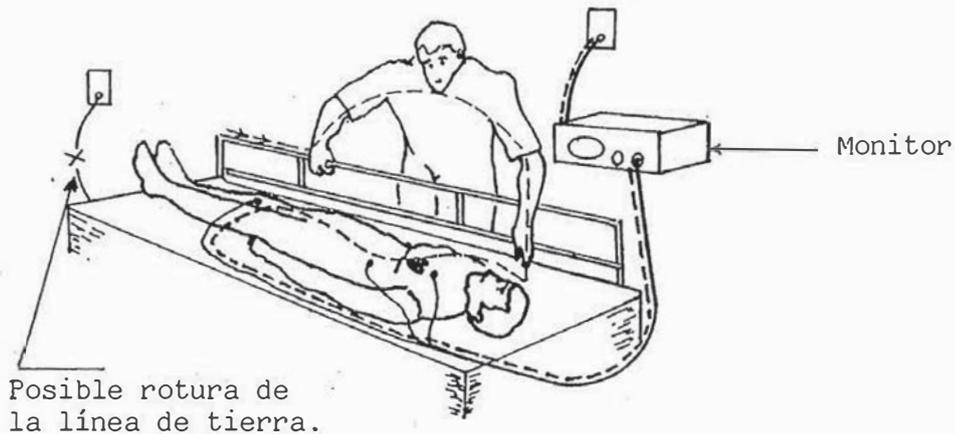
Como una carga estática puede ser un peligro para el paciente si los excitantes prenden algún gas ó material inflamable, este proporciona una explosión.

Este conductor a tierra provee una vía para fuga de corriente la que podría ser conducida a una caja del aparato eléctrico; la magnitud de esta fuga de corriente depende de las características del aparato; el aislamiento asociado con él. La fuga de corriente puede resultar de diferencias energéticas entre piezas de equipos y podría fluir a través del órgano vital de un paciente, si una vía de corriente del paciente fue establecida. Una de estas condiciones se encuentra en sondas cardiacas, donde pequeñas cantidades de corriente pueden causar fibrilación ventricular, la FIG. Nº4 ilustra la vía de corriente por corrientes de fuga. La que podría desarrollarse en una cama de pacientes operada eléctricamente, ya que la vía a tierra es provista a través del paciente por medio de aislantes.

Sin embargo la resistencia provista por el conductor a tierra del cordón de energía es significativamente menor, y hasta proveerá la protección necesaria para el paciente. Si este alambre a tierra fue roto, prácticamente toda la corriente podría fluir otra vez al paciente. Por éste ejemplo nosotros tenemos que utilizar monitores para pacientes no aislados ya que hay muchos de estos en uso corrientemente.

FIG. N°4.

----- : Recorrido de la Corriente de Fuga



La resistencia de un conductor a tierra, es de suma importancia; esto, deberían ser tomadas estas consideraciones, para esto, como se sabe la resistencia del alambre es inversamente proporcional a su área de cruce seccional. Por ejemplo, conductor a tierra en un cordón de energía de 1.00 mm<sup>2</sup>. representa aprox. 0.0209 Ohms/metro. Otro alambre como el de 6 mm<sup>2</sup>. solo representa 0.00328 Ohms/metro. Normas y códigos de corrientes aéreas de anestesia requieren que no más de 5mV exista entre superficies conductivas que podrían venir en contacto con el paciente al alcance del cualquier que toca al paciente. Esto significa para colocar la línea a tierra de un equipo eléctrico para un 1.00 mm<sup>2</sup>. que en una longitud de unos 5 metros no más de 52 mA de falla de corriente pueda desarrollar sin exceder los 5 mV de diferencia de potencial requerida. En las

áreas de unidades críticas, donde 100 mV. es el voltaje máximo aprovechable, la falla de corriente podría tener que ser tan bajo como 1.04 Amp. Estas fallas pueden desarrollarse a través de componentes internos ineficientes o cordón de energía de aislamiento pobre. No hay forma cierta de prevenir estas fallas, como sea, sus magnitudes pueden ser prevenidas a un mínimo a través del uso de un sistema de energía aislado. A través del uso del sistema de energía aislado una falla de línea inicial hacia tierra puede ser protegido tan bajo como 2 mA. si el sistema está operando en las condiciones de seguridad. El alambre de energía a tierra podría fácilmente acomodarse a estos 2 mA. de falla y estar bien en los requisitos de NFPA 56A y NEC.

Estas Normas establecen también que en áreas anestésicas requiere que no exceda de 40 mV. entre lugares conductores y contacto con el paciente.

#### 2.01 Sistema a Tierra Instalado Permanentemente

Se provee un apropiado contacto a tierra, para que todo dispositivo eléctrico que sea conectado a un sistema a tierra esté interconectado a proveer un plan a tierra equipotencial para el paciente, Normas y Códigos de corriente requiere que todo metal al alcance del paciente crítico y al alcance de cualquiera que toque al paciente sea apropiadamente conectado a tierra, el propósito de esta malla a tierra equipotencial es permitir interconectar dispositivos eléctricos localizados cerca o aplicados al paciente sin -

el peligro de fuga o falla de corriente al paciente.

Por la interconexión de las superficies metálicas en el área de pacientes, existe diferencia de potencial entre estas partes metálicas que pueden ser mantenidas en un mínimo. Esta diferencia de potencial da como resultado una corriente fluída, esto no sucedería si el plano entero conectado a tierra cuyo potencial es cero. El largo de todo el metal está al mismo potencial.

## 2.02 Conexión a Tierra Equipotencial

El sistema equipotencial a tierra debe consistir de un aparato de conductores los que conectarán centralmente superficies conductoras (que son expuestas a contacto del paciente) de pacientes a tierra, ó una sola a tierra ó finalmente un punto diferencial a tierra.

Estos puntos pueden ser separados ó físicamente el mismo, si son separados, se requieren que estén interconectados por un mínimo a alambre de 6 mm<sup>2</sup>. Se recomienda que un conductor de 50 mm<sup>2</sup>. sea usado para interconectar estos puntos a tierra. La razón de ésto se debe a la definición del Código para pacientes a tierra. El Código indica que un paciente a tierra servirá como el punto común a tierra para toda distribución de equipo no eléctrico en el punto cercano al paciente. En un área de cuidado de pacientes o especialmente en un área de anestesia es impracticable conectar a tierra a los muebles conductoras o equipos al alcance del paciente o una persona que pueda tocarlo a un

dulo específico conectado a tierra.

En un área de anestesia, mucho de éstos equipos deben ser conectados a tierra tanto como de 2 ó 3 módulos. Lo que esto no está admitido por la definición de un paciente a tierra, usando un cable de 50 mm<sup>2</sup>. para conectar 2 ó 3 módulos podría admitir la expansión de la definición del paciente a tierra a más de un módulo. Estos colectores a tierra deben ser luego conectados de vuelta a la salida de tierra. Los que pueden ser los mismos como un punto de referencia a tierra usando un alambre de 50 mm<sup>2</sup>. Lo que el Código también requiere que el paciente conectado a tierra conste de un mínimo de 6 enchufes a tierra, usando un alambre de 50 mm<sup>2</sup>. admite estos enchufes a tierra a ser divididos entre algunas zonas para uso más conveniente. El propósito de una salida a tierra es asegurar que todas las superficies eléctricamente conductoras del edificio al alcance de un paciente esten en el mismo potencial eléctrico. Por estos, cualquier superficie metálica del edificio que podría llegar a ser energizado eléctricamente debe ser conectado a este colector. Estas superficies pueden ser gas, agua, calefacción y tubos de extracción, conductores no relacionados al sistema de distribución de energía eléctrica, ductos, tabiques portátiles, miembros estructurales de la puerta o marco de las ventanas, etc. Si un cable de 50mm<sup>2</sup>. es usado para interconectar los módulos a tierra, las superficies metálicas conductoras pueden ser conectadas con un alambre de 6 mm<sup>2</sup>. al módulo más cercano; si el alambre de

6 mm<sup>2</sup>. es usado para interconectar los módulos a tierra, un colector a tierra en la sala podría tener que ser escogido con un punto a tierra de la sala.

La tierra de todas las superficies metálicas podrían luego tener que ser conectados a éste punto.

Un punto de referencia a tierra debe también ser provisto en el sistema de distribución secundario por el sistema de energía aislado. Puede simplemente consistir de un colector metálico conductivo (ligeramente menor a la medida nominal) en el panel de aislamiento de energía.

Debería proveerse de un blindaje electrostático si presenta una línea de aislamiento del monitor que sirve al paciente a tierra, salidas a tierra y la conexión a tierra de cada uno de éstos conductores a tierra de circuitos múltiples derivados, debería ser conectado a la estructura de acero más cercano, y también debería ser conectado al colector de tierra en el panel de distribución eléctrico que sirve al área particular, un paciente no puede ser servido por más de un punto de referencia a tierra, como sea, un punto de referencia conectado a tierra puede servir a más de un paciente, nótese que un área de paciente ó área de anestesia es servido por ambos, el sistema de distribución eléctrico esencial y el sistema de distribución eléctrico normal, las barras terminales conectadas a tierra de equipos tienen que ser atados junto con un conductor de ramal de cobre continuamente aislado no menor que el de 6 mm<sup>2</sup>.-

ESTACION DE ENFERMERAS

CUARTO DE CUIDADOS INTENSIVOS

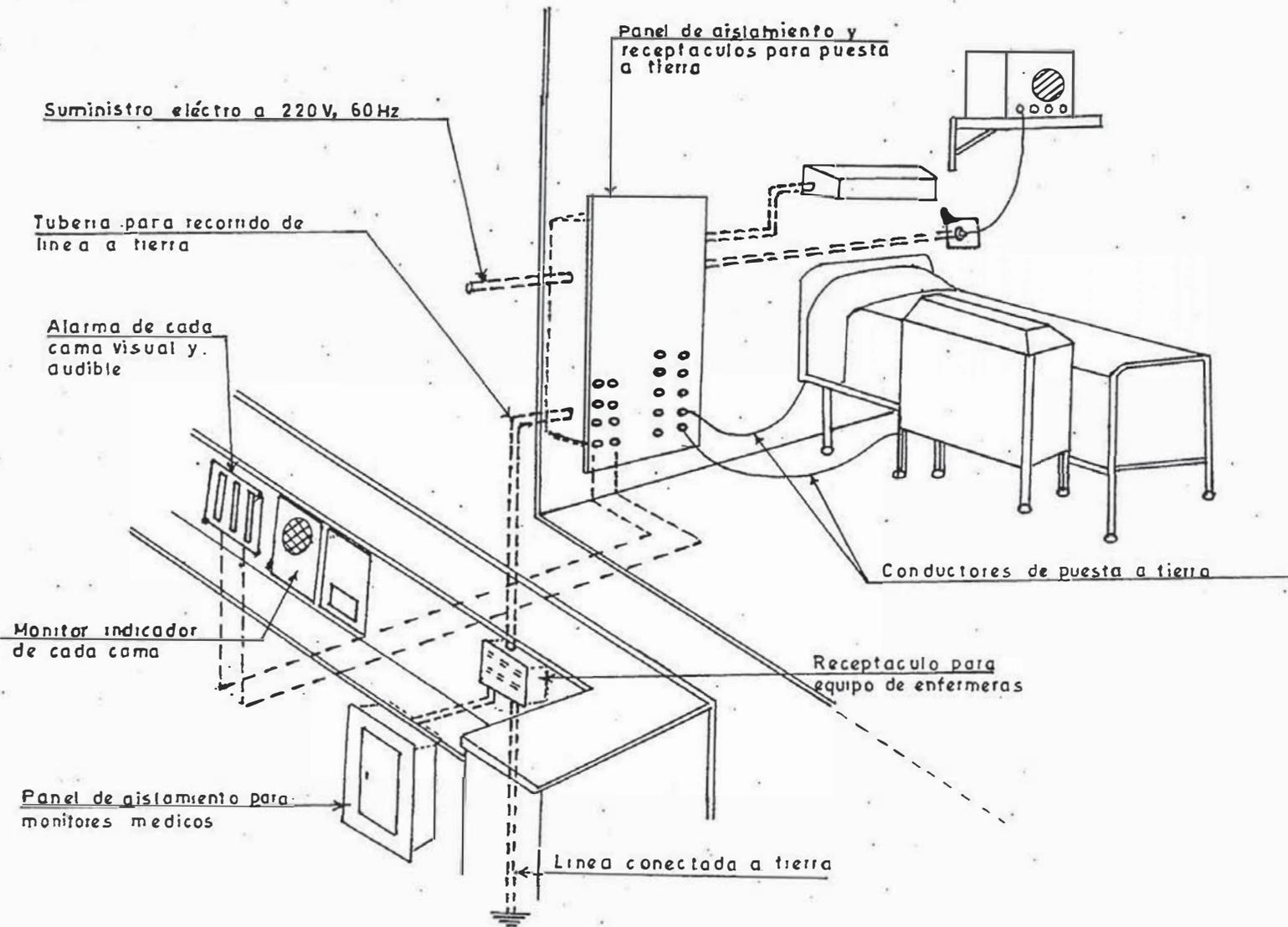


FIGURA No. 5

la Fig. N°5 ilustra los requisitos a tierra para el área de cuidados intensivos y el área de anestesia.

### 2.03 Cordones Externos a Tierra

Las Normas y Códigos de corrientes requieren el uso de cordones conectados a tierra para ser usado en unión con el sistema equipotencial conectado a tierra. El cordón a tierra debe ser de 6 mm<sup>2</sup>. cableado flexible, conductor de cobre con aislamiento. El cordón a tierra es usado hacia tierra en todo sistema no eléctrico, dispositivos conductivos largos aseguran que están siempre en el mismo potencial eléctrico relativo como toda superficie de pronto conductor, de este modo reduciendo la posibilidad de bajar la corriente que fluye entre estos dispositivos. El equipamiento debería ser conectado por éste medio, puede ser la mesa monoeléctrica de la sala de operaciones, máquinas de anestesia, mesa de instrumental, pisos conductivos, y muebles de seguridad como camas monoeléctricas. Ha sido mucha oposición para el uso de cordones a tierra, por causa de riesgo que producen en alambres adicionales cuyos acompañantes pueden sobre descargarse, el uso de cordones a tierra es esencial para apropiada conexión a tierra y si es usada apropiadamente puede añadir seguridad al paciente, los módulos conectados a tierra deben ser estratégicamente situados en zonas de anestesia para que sean más accesibles a las zonas de los módulos que requieran enchufes a tierra, deben ser seleccionados para evitar cordones a tierra en el caso de mayor tráfico: Cordones a tierra usados

en zonas de anestesia deben ser por lo menos 5 metros de largo pero que no cuelgue en un rincón de la pared de los cuales son conectados.

El Código requiere que el cordón sea conectado a la pieza del equipo mediante el uso de un conector. Esto ha causado muchos problemas para Hospitales, ya que es difícil hacer esta conexión en el área del paciente.

Debemos recomendar que un cordón a tierra sea permanentemente montado a cada pieza del equipo portátil y un pequeño cordón cuelgue conectado al equipo para un almacenaje conveniente.

Debe ser enfatizado que conexión a tierra equipotencial en un área de anestesia ó área de cuidados críticos no es la respuesta completa para seguridad eléctrica. Solo cuando un sistema de energía aislado y un apropiado sistema de tierra de funcionamiento equipotencial son integrados, puede la seguridad eléctrica ser mejor logrado.

Entre otros tenemos:

- 1.- La conexión a tierra en luces Quirúrgicas tipo carril, es una fuente potencial de dificultad, debido a la posibilidad de gran resistencia en la conexión corrida. Debería ser enfatizado a los fabricantes de luces Quirúrgicas que esta conexión no ofrezca más que 0.005 Ohms. de resistencia. Esto debería ser también chequeado por el departamento de mantenimiento del Hospi-

tal en razón de salvaguardar la integridad de un contacto de alta resistencia en este punto.

- 2.- Recordando que el equipo de Rayos X instalado permanentemente está excluido de la necesidad de ser servido por un suministro de energía aislado sin tierra tan largo como su suministro de energía esté localizado fuera del área de anestesia.

A menos que se tomen precauciones este puede introducir un segundo sistema a tierra en la sala de tratamiento.

Esta envoltura de la cabeza de la máquina de Rayos X que podría venir en contacto con el paciente y que podría tocar el cuerpo del médico debe ser conectado a tierra por un mínimo de conductor de 25mm<sup>2</sup>. como se estableció en el tema ó un tamaño mayor para protección adicional.

La máquina de Rayos X provisto por una vía de circuito neutro corto en el caso de cualquier condición de falla, ya que, la integridad de éste circuito neutro debe ser parte de la rutina del programa de mantenimiento para los Hospitales.

Para protección más amplia es seguro que el circuito que sirve al equipo de Rayos X permanentemente esté provisto con un interruptor de circuito de falla a tierra.

- 3.- Hay ocasiones cuando ciertas circunstancias requiere -

que un conductor sea más largo que los 5 metros especificados.

Los Códigos y Normas no aceptan esto corrientemente, - aunque parezca razonable que un conductor de 6 mm<sup>2</sup>. - pueda ser usado si esta distancia ha estado entre 6 y 8 metros. Encontrará que la resistencia total de un conductor de cobre trenzado de 8 metros de 6 mm<sup>2</sup>. es aproximadamente igual a la resistencia de un conductor de cobre trenzado de 6 metros de 2.5 mm<sup>2</sup>.

4.- Recomiendo fuertemente que el conductor a tierra siempre esté en su propio ducto, eliminando así el acoplamiento de capacidad entre los conductores de energía y el alambre a tierra y consecuentemente reduciendo la fuga del sistema.

5.- Los terminales a tierra de los receptáculos de Rayos X portátiles ó rodables deben ser definitivamente conectados al colector de tierra equipotencial en el salón y puede ser opcionalmente conectada al colector de tierra en el panel de energía aislado de Rayos X. Esto asegurará una apropiada conexión a tierra del receptáculos y aceptará la línea de aislamiento del monitor una eficiente impedancia del sistema. Esto debiera solo aplicarse cuando la energía del equipo de Rayos X portátil ó rodable es obtenido desde una fuente sin tierra aislado como es requerido por los Códigos y Normas.

6.- El conductor no tiene que ser algo mas que de 2.5 mm<sup>2</sup>.

indiferente del voltaje ó la energía necesaria del dispositivo, siempre aislado, fuga de corriente del sistema a tierra es asumida a ser 2 miliamperios según Norma. Desde que un tubo conduit metálico y una caja de empalme metálico son usados para servir de switch ó receptáculos, el arco resultante del switch causado por la unión es conducido a tierra y puede causar interferencias en el equipo monitoriado y bajo ciertas circunstancias podría de un modo conceptible causar un riesgo al paciente.

Recomiendo que un bushing aislante sea usado para quebrar este arco resultante donde el tubo conduit entra a la caja de empalme del receptáculo. Puesto que no hay provisiones para este en las Normas y Códigos de hoy, este caso puede ser discutido con Códigos Locales autorizados y una regla apropiadamente óptima. No hay necesidad para este tipo de casquillo, por supuesto donde tubo PVC ó caja de empalme de material aislante es usado.

- 7.- Cuando 2 paneles son usados para servir al mismo paciente, como ocurre cuando un receptáculo de Rayos X portátil ó rodable servido de un panel de distribución diferente esta situado en el salón, tienen que ser tomados cuidadosamente que el punto a tierra en cada panel de distribución esté conectado al mismo punto a tierra del edificio. Esto es muy importante y no debe ser desquidado en el Hospital asistido que esté remode

lándose. Se tendrá presente que el panel de distribución servido por los 220 V., necesarios, es normalmente servido de un panel de distribución de emergencia. Mientras el panel de aislamiento de Rayos X portátil, no esté, debe estar firmemente establecido que ambos, el colector del equipo a tierra en el panel de distribución de emergencia y el colector del equipo a tierra en el panel de distribución normal que sirven al Rayos X portátil ó rodable tienen continuos conductores de vuelta sirviendo de ingreso al sistema de tierra del edificio.

8.- NFPA Nº56A - 1973, requiere que cada zona de anestesia sea provista con 6 enchufes a tierra para ser usado por conductores no eléctricos a tierra del equipo portátil ó rodable. Aunque no hay recomendación para una cantidad exacta en un área tal como cuidados coronarios ó cuidados intensivos, recomiendo que el mismo número sea previsto para cada área de cama.

9.- Los conductores conectados a tierra para este equipo particular necesariamente tiene que estar en tubo. Los Códigos y Normas no son enteramente claros en esto y recomiendo que sea discutido con los Códigos locales autorizados y así obtener una regla.

Los Códigos establecen que puntos en cerrada proximidad a otro pueden ser unidos y conectados a tierra con conductores simples.

En puntos unidos encerrada proximidad a otro, debe to

marse cuidados para no crear arco a tierra.

10.- Solo en circunstancias excepcionales requiere el montaje remoto de un enchufe a tierra simple, normalmente - recomendando que todo enchufe a tierra sea instalado en la misma envoltura que acoplan mayor punto a tierra, de ese modo conservando la resistencia de conexión entre enchufes a tierra y el punto a tierra obteniendo así - la misma medida.

11.- Es muy difícil proveer guías para la conexión de un piso conductivo existente al sistema de tierra equipotencial. Obviamente para proveer el mismo tipo de co -- nexión a tierra como hemos descrito para un nuevo proyecto de construcción cuando remodelen un Hospital, podría ser necesario remover el piso existente e insta - lar uno nuevo.

Cualquier otro método de conexión de un piso conductivo existente es un compromiso. Seguro hay una gran variedad de materiales y prácticas de construcción usados en pisos conductivos existentes que está recomen - dando el Ingeniero Consultor que maneja el proyecto y las autoridades locales de Códigos llegan a algún metodo aceptable a conexión para cada aplicación indivi - dual.

Quizá la mayoría de métodos expeditos de muchos de estos tipos de situaciones es para el Ingeniero Consul - tor a proponer un método de conexión más los Codigos - locales autorizados.

## 2.04 Guías de Diseño

### 2.04.1 Concepto de Sistema

Con el complejo incremento de sistemas de aislamiento usados en sistemas anestésicos ó áreas de pacientes críticos, es más importante que se usen siempre un sistema apropiado donde todos sus componentes hayan sido diseñados para trabajar con cada uno de los otros para obtener un resultado específico.

Los variados componentes comprendidos en un sistema de energía aislado pueden ser obtenidos individualmente, transformadores de aislamiento de monitores, paneles de interruptores, colectores a tierra, receptáculos de energía, cajas de empalme metálicos, etc., son todos comunmente usados.

Muchos factores han sido tomados en cuenta en orden de asegurar una apropiada empaquetadura de apropiado diseño para admitir una zona de conveniente facilidad de mantenimiento, intercambio de componentes para ahorrar un mínimo de partes requeridas y apariencia atractiva deseada en los auxilios de cuidados del corazón.

Sistema de componentes individuales, invariablemente da como resultado una duplicidad de funciones, gran costo de área de trabajo, excesiva fuga del sistema y quizá la más importante, la falta de una fuente dependiente de una responsabilidad.

El grán número de componentes de sistemas modulares permi-

te a los Ingenieros Electricistas Consultores y Arquitectos la gran amplitud de diseño, consecuentemente, un sistema para fijar las necesidades especiales de cada Hospital es practicada, a pesar de esta gran versatilidad todos los módulos deberán diseñarse para intervenir e interrelacionarse con cada uno de los otros perfectamente, puesto que se ha considerado todos los requisitos importantes de un apropiado sistema de aislamiento cuando son diseñados módulos variados averiguando sus sistemas entre los más importantes de estas consideraciones son:

- Paneles de temperaturas operantes, nivel de sonido, mínima fuga, facilidad de mantenimiento, intercambio de componentes, buena operancia y facilidad de instalación.

#### 2.04.2 Aplicación

Se debe diseñar módulos que sean complementarios de cada uno de los otros y se encajen perfectamente. Este esfuerzo garantiza compatibilidad entre módulos, esto es un paso importante con respecto a que obtiene un sistema de trabajo. Esto es uno de los cuatro importantes ingredientes necesarios para obtener finalmente mejores resultados.

El segundo ingrediente ha sido ya mencionado y, con el riesgo de ser redundante, deseo establecer de nuevo. Una falta de buena comunicación entre el Ingeniero Electricista Consultor, Arquitectos, Administradores Hospitalarios, cuerpo médico, el contratista de la parte eléctrica y fabricantes de equipos pueden como resultado costosísimas mo

dificaciones una vez terminado el edificio. El Ing. Electricista Consultor, debe ser el núcleo del grupo, cuyos miembros todos contribuyen a la información vital para el diseño del sistema, nosotros llamamos a este esfuerzo "INGENIERIA DE SISTEMA TOTAL".

Hemos probado proyectos reconocidos elaborados por capacitados Ingenieros Electricistas Consultores, quienes requirieron después modificaciones que costaron mucho dinero por sala de operaciones ya que no usaron información vital.

Ejemplo de errores que nunca deben ocurrir son voltajes incorrectos para máquinas de Rayos X, insuficiente receptáculos y capacidad. insuficiente en el sistema de aislamiento.

El esfuerzo del equipo en la Ingeniería del sistema total aporta beneficios de todos los miembros del equipo del Hospital en muchas formas, por ejemplo, el Arquitecto puede hacer las medidas provisoras apropiadas para la cantidad del equipo requerido que resulte en superior calidad estética, puede también especificar aproximadamente el equipo para lo cual él es responsable y evitar que teniendo el total del equipo cause dificultades una vez terminado el proyecto.

Las luces Quirúrgicas fijas en el control de Rayos X siempre caen en esta categoría, el Administrador del Hospital puede inteligentemente ordenar el equipo que se usará en la sala de operaciones, especificando fugas de corrientes mayores, apropiados cordones y conectores, etc.

Muchas veces los accesorios apropiados sobre estos equipos no son aprovechados en carga adicional para esto deberá especificar el orden en que se deberán colocar, eliminando así la necesidad de inconveniente y costosa modificación posterior. El Jefe del Cuerpo de Cirugía puede especificar un tráfico fluido dentro de cualquier sala de operaciones individual y de esta manera admite al Ingeniero proveer el lugar adecuado para el equipo. El Ingeniero de mantenimiento del Hospital tiene una mejor comprensión sobre lo que se espera del sistema de aislamiento y consecuentemente puede rendir mantenimientos más convenientes y eficiente.

### 2.04.3 Criterio de Aplicación General

#### a. Tamaño del Sistema

Es imperativo que el tamaño del sistema sea mantenido tan pequeño como práctico para limitar las fugas de corrientes. Recuerde que todo lo que se conecte al sistema de aislamiento incrementa el índice total de peligro: pero esto es peligroso del sistema, debe ser conservado bien por debajo del máximo a admitir para que la fuga normal de corriente choque en el equipo que será operado desde éste suministro de energía, añadiendo que el Código establece que el sistema descargado con la línea de aislamiento del monitor desconectado, debe tener una línea mínima de resistencia a tierra de 500,000 Ohms, que en un sistema de 220 V. equivale

a 440 mA, cuando observamos a través de un miliamperímetro conectado entre línea y tierra.

Cuando hablamos del tamaño del sistema; todo el alambrado entre los circuitos abiertos y el panel de aislamiento y sus receptáculos deben ser considerados como factores que contribuyen al tamaño total. Lo que todos los metros de alambre conectados al lado secundario del transformador de aislamiento contribuyen hacia las fugas, debemos guardar o reducir esta pieza total de alambre a un mínimo.

Estos factores enfatizan la necesidad de colocar el panel de aislamiento e inmediatamente cercano al punto de uso.

El uso de un sistema central, uno que contenga los sistemas de distribución individual para varias salas de operaciones ó salas de cuidados intensivos, no es práctico, excepto bajo ciertas circunstancias. La única vez que el sistema central podría ser usado lógicamente es cuando la zona central debe coincidir con el lugar más cercano o salas de cuidados intensivos. En cualquier otro caso, el sistema central dará como resultado un recorrido grande del panel a los receptáculos, y consecuentemente puede incrementar el peligro de corriente en el sistema.

b. Capacidad del Sistema

En la selección de capacidad de un transformador de aislamiento para una zona dada debe ser recordando que estas áreas generalmente presentan una condición de carga intermitente, y diversidad de carga aunque un área dada puede contener equipo que podría requerir energía en exceso del sistema de aislamiento previsto; todo el equipo nunca es usado al mismo tiempo. La energía aislada para la sala de operaciones está casi siempre bajo los 5 KVA. En donde los requisitos son encontrados en exceso de 5 KVA, es usual el caso en que la fuga del equipo conectado pueda estar en exceso de 2 mA, permitido por el Código. Consecuentemente, las áreas de gran carga requerirán más de un panel siendo estos de 3 y 5 KVA, más que suficiente. Se recomienda que estos transformadores tengan una clase de aislamiento H que es apta para ascenso hasta 150°C. La temperatura diseñada de esfuerzo máximo como sea está limitada a 55°C grados ascendentes.

Por esto el transformador es fácilmente capaz de proveer energía para cargas que exceda los 150% de su capacidad. Esta es una característica importante de un transformador de aislamiento ya que provee para muchas cargas pesadas intermitentes tales como las de equipo de Hopotermia.

En áreas de cuidados intensivos, en donde un transformador sirve a una cama, es recomendable un

transformador de 3 KVA. Este transformador puede suplir más que suficiente, capacidad de carga para el paciente y operará a una temperatura tibia suficientemente para preveer larga vida al transformador, así el transformador es usado para servir 2 camas adyacentes ó posiblemente 3, para esto se recomienda un transformador de 5 KVA. Se deberá tener presente que la única vez que un transformador debe ser usado para servir más que una cama es cuando es adyacente a otro en la misma sala.

Para determinar un cálculo preciso de carga para el sistema, es recomendado sumar la corriente de carga individual para cada pieza de equipo.

Usualmente se conectan de 2 a 4 receptáculos a un interruptor, en la mayoría de los casos un panel de sala de operaciones consta de 8 a 10 interruptores secundarios que son suficientes, si receptáculos adicionales se requieren 2 interruptores secundarios podrían ser usados.

Los paneles de aislación que sirven a una cama simple en un área de cuidados críticos requiere solo 8 interruptores secundarios.

#### c. Sistemas en Tubos y Alambres

El escoger un conductor apropiado es uno de los criterios de diseño más importantes de un sis-

tema de energía de aislamiento. De escogerse un sistema inapropiado, el resultado que se desea es el mismo como que incrementa la capacidad de fuga. Un buen alambre de aislamiento de comercialización de esta aplicación es polietileno Linked que tiene un mineral como envase en lugar de un carbón negro como envase.

Debe ser usado una pared de  $2/64$ " de espesor mínimo para aplicaciones de 120, 208 y 240 V., aunque la aislación de  $3/64$ " podría ser preferible en la aplicación de 120 y 240 V., no es rápidamente aceptable por los fabricantes que conocemos por ser una mercadería especial ya que se fabrica en una cantidad mínima. Esto es un proyecto grande, pero demostraría que es económicamente impracticable en proyectos pequeños donde el alambre requerido puede ser menor que 500 metros por color. Hay algunos otros alambres de aislamiento que contienen polietileno que ofrecen buenas características de rendimiento. El grosor de la pared antes mencionada debe ser demandada como un mínimo y además es importante estar seguro que el alambre usado tenga una constante dieléctrica de 3.5 menos que el requerido por la NEC de 1975.

El alambre standard TW es definitivamente inadecuado y viola los códigos para los sistemas de energía aislado, puede ser usado para el conduc

tor a tierra equipotencial si el conductor a tierra no está contenido dentro del mismo tubo, así como los conductores de energía, en donde es deseable que corra el conductor a tierra y los conductores de energía, debe ser especificado bajo fuga de aislamiento. El Código demanda que el conductor 1 en el sistema sea de color naranja, el 2 marrón y el conductor a tierra verde.

Estoy a menudo pidiendo a fabricantes exactas especificaciones y catálogos de número de alambre para el conductor de baja fuga. Hemos encontrado que esto es extremadamente difícil de hacer ya que las ventajas de estos alambres difieren dependiendo del área del campo que involucra y en el pasado hemos encontrado fabricantes con producción descontinuada de los tipos de alambres recomendados. Así mismo además que con los cambios que se hagan los Códigos puedan hacerse nuevos alambres que ofrezcan en el futuro cumplir esta aplicación.

El uso de alambre compuesto fraccionado, debe ser evitado puesto que incrementa la capacidad de acoplado. El Código no admite que el alambre compuesto fraccionado sea usado en tubos de sistemas de energía de aislamiento, el uso de éste compuesto casi nunca es requerido ya que la mayoría de los corredores en el sistema de aislado son cortos.

A veces ocurre dificultades en circuitos de Rayos X

portátiles ó rodables, puede ser anticipadas y se sugiere que los tubos sobredimensionados facilitan esta situación, en algunos casos las especificaciones deben insistir en la importancia de alambres compuestos para prevenir este uso automático por el contratista en instalaciones eléctricas.

Es obvio que el tubo debe ser seco porque sino las características de fuga diseñadas en el sistema serán aumentadas.

Se debe tomar precauciones en la etapa de construcción para prevenir el tubo con tapones extremos y consecuentemente libre de humedad al tubo accidentalmente, así que deben ser refregados y secados minuciosamente antes que los conductores estén instalados.

El tubo ideal para usar como un sistema de aislamiento de energía es el PVC, su uso reduce la capacidad acoplada entre los conductores de energía y para un valor mínimo, de este modo reduciendo la fuga en el circuito del alambre secundario.

Algunos especialistas de Códigos locales no ven el uso del tubo PVC empotrado favorable, por eso su uso debe ser discutido con los responsables del Código local antes de iniciar algún proyecto. No use el PVC donde deben terminar o atravesar una zona de riesgo como los que estan debajo de los 1.5

metros del nivel en la sala de de operaciones dise<sub>u</sub>  
ñada para usarse como anestésicos explosivos.

La segunda alternativa en la selección de tubos, -  
puede ser un tubo rígido con un recubrimiento de  
PVC, lados interiores y exteriores del tubo. Un  
ejemplo de este tipo de tubos puede ser el fabrica<sub>u</sub>  
do por Cobroy, TwinKete marca registrada americana.  
El uso de éste tubo reduciría la fuga que se en -  
cuentra a través de la cap<sub>a</sub>cidad acoplada en el con<sub>u</sub>  
ductor secundario del transformador en un 30% apro<sub>u</sub>  
ximadamente, nuevamente el uso de éstos tubos deb<sub>e</sub>  
ser discutidos con las autoridades encargadas de  
hacer cumplir el Código local, aunque hasta el mo<sub>u</sub>  
mento no hemos encontrado ninguna resistencia para  
su uso en áreas riesgosas.

Normas de tubos rígidos pueden ser usados para es-  
to podría resultar en el máximo grado de capacidad  
acoplado entre conductores de energía y (a tierra),  
consecuentemente la máxima fuga en el alambre se -  
cundario.

El esquema siguiente mostrará la expectativa de co<sub>u</sub>  
rriente riesgosa por metro respectivamente de los  
conductores de energía que usan los alambres des -  
critos arriba. La información permitirá al Inge -  
niero Consultor, estimar el sistema de corriente -  
de peligro en la etapa de diseño.

Los valores dados son aproximados ya que los cambios de humedad del medio ambiente así como de humedad del ducto ocupado que no puede estar previsto en el alambre de aislamiento.

Peligros debido a fugas de corrientes contribuido por cables

<u>Material Usado</u>	<u>Resultado</u>
- Alambre TW	3 micro amperios
- Ducto metálico	por metro de aislamiento.
- Alambre compuesto traccionado con conductor a tierra.	
- Alambre XLP.	1 micro amperio
- Ducto metálico	por metro de alambre.
- Alambre compuesto no traccionado con conductor a tierra.	
- Alambre XLP.	3 micro amperios
- Ducto PVC	por metro de alambre.
- Alambre compuesto no traccionado no puesto a tierra.	

d.- Requisitos del Código

La iluminación del Centro Quirúrgico y espe- ciales en general necesita no ser generada del sis- tema de aislamiento. Los Códigos permiten para es- tas luces que sean conectados al sistema de tierra, estipulando que el switch de control sea puesto - fuera del área de anestesia, nótese que se situa - mos este switch de luz sobre 1.5 metros del nivel del piso de la sala de operaciones no constitu- ye complacencia con el Código.

El switch debe ser situado fuera de la sala de ope- raciones salvo que éste fuera de mercurio, aparte que los relojes situados a 2.5 metros del nivel - del piso, todos los demás dentro de la sala de ope- raciones debe ser generado del sistema de aisla - miento sin tierra.

El sistema en ambos lados primario y secundario del transformador debe ser provisto de la protección de sobre carga en cada conductor, de ese modo deben ser diseñados los polos.

Es requerido por los Códigos y Normas que en los - lados secundarios de un sistema de aislamiento ha - ya un constante mantenimiento y facilitaría más - tarde un buen servicio del sistema, este hecho de- be ser enfatizado en las especificaciones, dado - que el constructor electricista tiene un entendi -

miento cabal de estos requisitos, se recomienda los servicios de un Ing. Electricista, sean con- tratados para inspeccionar la instalación del casco en construcción por etapas, los errores que sean encontrados en esta etapa del proyecto pueden ser corregidos con un mínimo de inconvenientes y costos.

No puede sobre enfatizar la importancia de un diseño e instalación adecuada del sistema a tierra equipotencial, es requisito del Código.

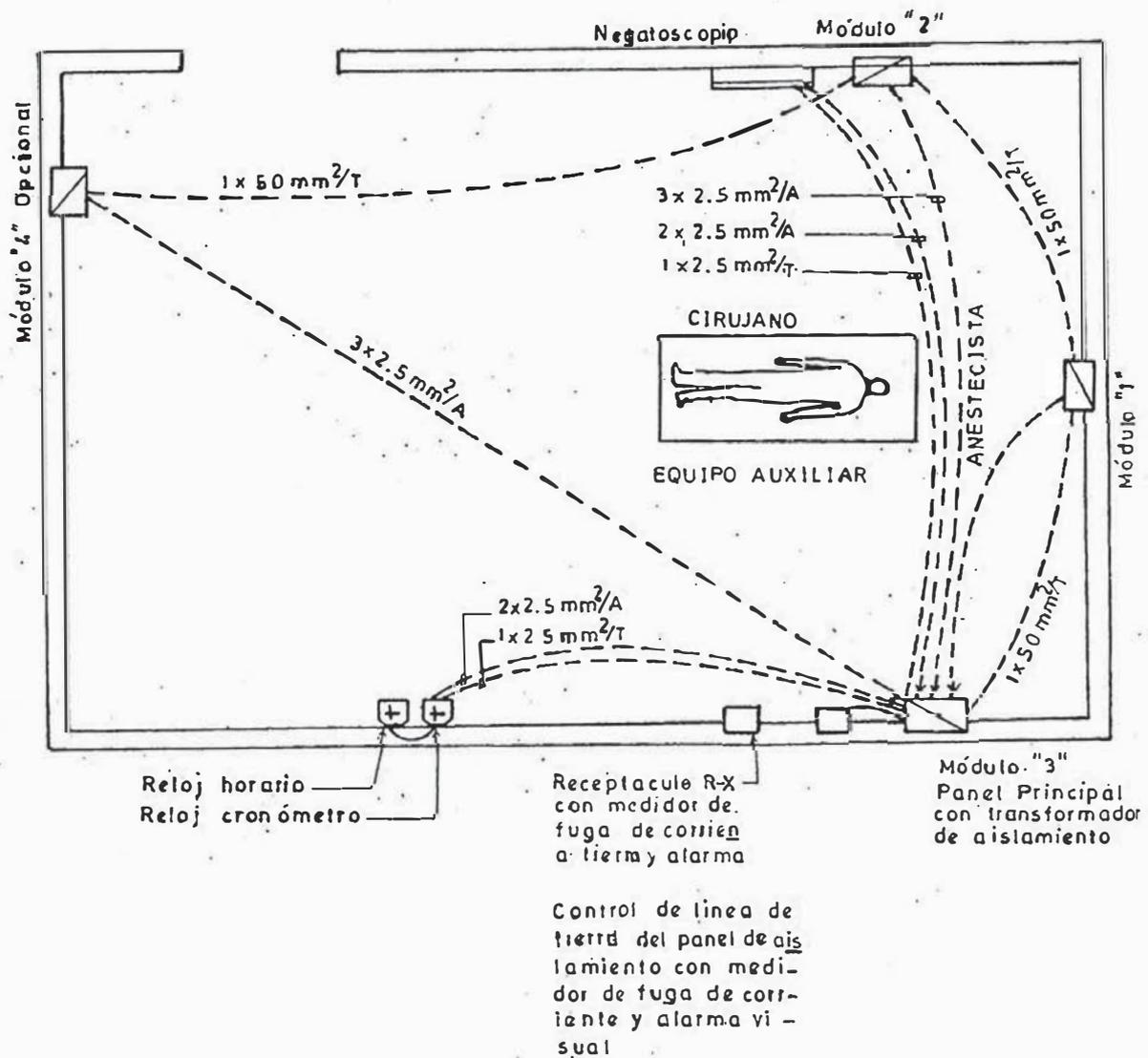
#### 2.04.4 Designación del Sistema

##### 1. Proyecto de un cuarto de Operaciones

Con prioridad la designación eléctrica en un cuarto de operaciones esta estandarizado, alguna importante información adquirida del personal del Hospital, el cuarto de operaciones tiene un tráfico fijado por Norma y como también la ubicación de la mesa de operaciones. Esto usualmente limita la localización de las luminarias en el cuarto de operaciones. Sin embargo, la cabeza de la mesa de operaciones puede estar variando, el personal del Hospital aconseja al Ingeniero electricista la ubicación standard de la posición de la mesa de operaciones. El tráfico está normado y está al lado de la posición del Cirujano y el equipo de apoyo.

FIGURA Nº 6

## DISTRIBUCION DE MODULOS DE DISTRIBUCION ELECTRICA EN CUARTO DE OPERACIONES



Los Módulos 1, 2 y 4 llevarán:

4 : Receptáculos con suministro de energía aislada

4 : Receptáculos para línea de tierra

A : Alimentador

T : Tierra

FIGURA N° 6.1 : ESQUEMA DE PRINCIPIO PANEL DE AISLAMIENTO EN CUARTO DE OPERACIONES

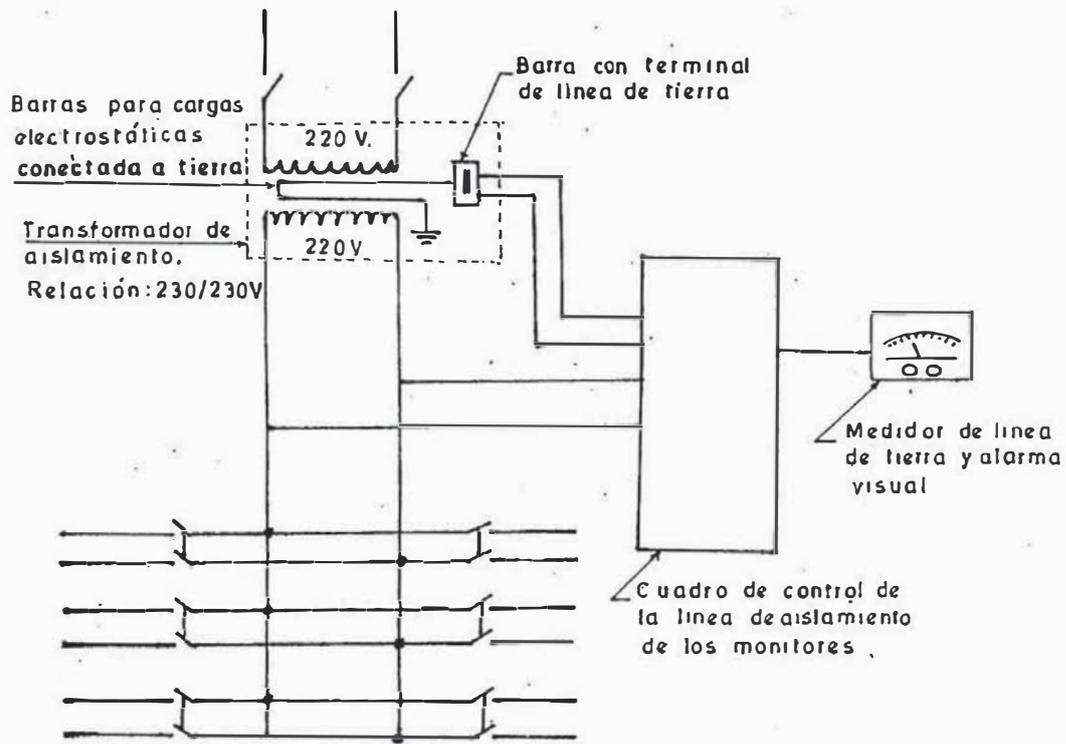
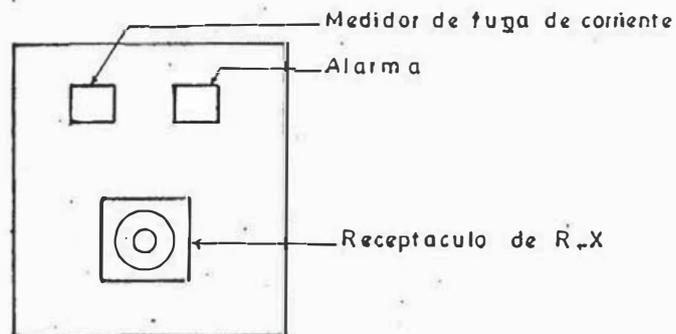


FIGURA 6.2 VISTA FRONTAL RECEPTACULO DE R-X



La posición del equipo eléctrico en el cuarto de operaciones tiene una directa relación con esta información. En la Fig.Nº6 se muestra la distribu - ción del personal y equipo.

Si el salón está catalogado como un área no infla - mable, puede ser usado un panel vertical y montado a una altura conveniente tal que pueda ser fácil - mente accesible los receptáculos y los contactos - secundarios. Nótese que el panel está situado de trás del equipo de apoyo cerca a la cabecera de la mesa de operaciones.

La ubicación de este panel es importante como para mantener los cordones eléctricos a tierra fuera del área de tráfico. El Código requiere que un indicador remoto esté situado en un lugar claramente visible del área de anestesia. Este puede estar - construido en el panel horizontal indicado en "1"; pero si el panel vertical es usado, puede ser mon - tado cerca del panel a un nivel de 1.50 metros.

En un panel de aislamiento un transformador de 5 KVA, es recomendado para el uso en la sala de ope - raciones. Este es un nuevo advertido para determi nar la carga del equipo secundario que se usará.

Muchos casos demandaría el uso de un transformador de 7.5 KVA. El transformador de aislamiento de 5 KVA debe tener una capacidad de 150% más de sobre

carga en su diseño de temperatura máxima. Se recomienda 10 circuitos secundarios para el panel, dos circuitos adicionales deben ser usados para suplir la luz de sobrecarga de la sala de operaciones.

Si el equipo de energía opcional conectado a tierra es usado, los cuatro (4) receptáculos en el módulo opcional deben ser servidos por un circuito y los cuatro (4) receptáculos en el módulo quirúrgico por otro circuito.

La ubicación del receptáculo de energía y de tierra es significativa en el plan de un sistema eléctrico funcional de la sala de operaciones.

Ya que los cordones de energía y de tierra pueden crear un peligro para la circulación del personal, cuidado considerable debe ser dado para ubicar receptáculos que no permitan que los cordones estén tendidos en el área de mayor tráfico.

Ya que el equipo de apoyo del cuarto de operaciones es el primer usuario de las salidas eléctricas, la mayoría de los servicios aprovechables deben estar detrás de ellos cerca de la cabecera de la mesa de operaciones. Hay poco tráfico entre este equipo y el anestesiista, entre el módulo de energía y de tierra. Un módulo adicional debe también estar situado detrás del Cirujano, cerca de la cabeza de la mesa de operaciones para que su equipo

pueda ser conmutado también fácilmente. La ubicación de los receptáculos en estos dos paneles, más los receptáculos en el panel de aislamiento, deben eliminar peligros sueltos en el área de tráfico fluido. se recomienda que receptáculos a prueba de explosión sean usados a un nivel de 1.5 metros. Es mucho más ventajoso usar receptáculos de energía con línea de tierra en una envoltura mayor que los receptáculos de energía montados individualmente dispersos por todo el salón. Los receptáculos se instalaran en un solo sitio cubiertos por una envoltura, de ésta manera se obtendrá una trayectoria de la línea de tierra de baja resistencia entre accesorios eléctricos.

Ya que un reloj (cronómetro) indicador de tiempo transcurrido es necesario en la mayoría de salas de operaciones se recomienda específicamente un buen cronómetro, montado detrás del equipo de apoyo. Esto facilitará al Cirujano y anestesista para observar fácilmente el reloj de tiempo. Permitiría también el acceso del equipo de soporte a los controles. El panel de control debe ser montado a un nivel de 1.5 metros y el cronómetro quirúrgico situado a un nivel aproximado de 2.20 metros. Algunos cuartos de operaciones podrían preferir situar el panel de control en un sitio tal que permita acceso al anestesista.

El Negatoscopio debe ser situado detrás del Cirujano para que tenga fácil accesibilidad, los receptáculos de Rayo X e indicadores remotos asociados deben ser situados detrás del equipo de apoyo, si el equipo de energía opcional conectado a tierra es usado debe ser situado en lo más alejado del salón. El propósito principal del equipo opcional es suplir energía para equipos tales como: Calentadores de sangre, esterilizadores, etc. el tamaño del conductor de energía y la línea de tierra es mostrado en la Fig. N°6, con su recorrido propio.

El uso del piso conductivo es todavía recomendado por el Código en todo lugar inflamable y mixta. Cuando se usa, debe ser unido al punto de tierra de referencia de la sala, donde una sala ha sido diseñada como un área de anestesia no inflamable, no se necesita piso conductivo.

El Código requiere que un punto conectado del paciente a tierra sea ubicado lo más cercano posible a la cabecera de la mesa de operaciones y ocasionalmente todos los aparatos sirven directamente al paciente sean conectados a este punto de tierra. Como sea he encontrado que es a menudo imposible que establezcan definitivamente la cabecera de la mesa de operaciones, puesto que durante una intervención quirúrgica la mesa puede ser girada en

180° de la intervención encontrada anteriormente.

Esto electricamente asegura que alguno de los colectores pudiera actuar como un punto de paciente a tierra por si solo ó en combinacion.

Es mucho mas conveniente tener varios puntos a tierra separados para conectarlos en forma tal que lleguen a ser puntos eléctricos. Esto es realizado por el diseño de un punto a tierra central referencial. El cual es a menudo encontrado para estar ubicado convenientemente en el panel de aislamiento. Ya que la resistencia es tan baja en un conductor de cobre de 50mm<sup>2</sup>., los puntos a tierra externa simplemente viene a ser extensión del punto a tierra maestro referencial.

Para todo proyecto practico, todos los puntos a tierra en el salon están en el mismo potencial eléctrico, la Fig.Nº7 ilustra un sistema a tierra equipotencial para una típica sala de operaciones.

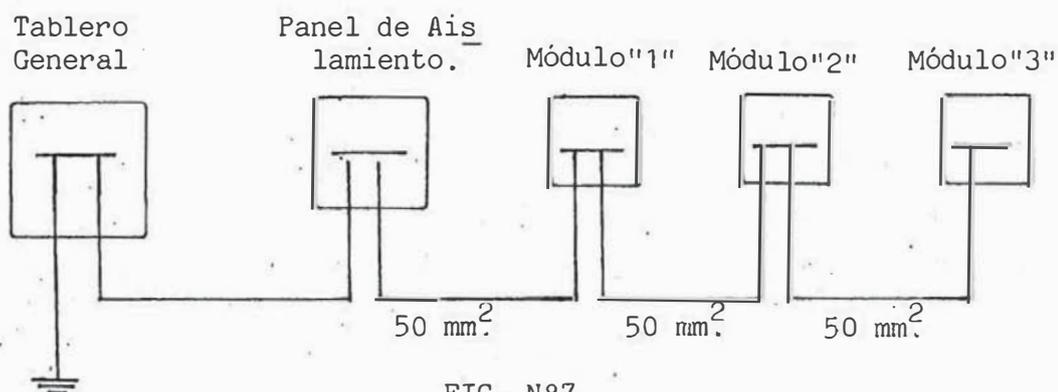


FIG. Nº7.

Los módulos a tierra en la sala de operaciones con tener una barra colectora conductiva de cobre equipado con un adecuado número de lenguetas para terminales permanentes. Estos puntos pueden tam - bien contener receptáculos a tierra para la co - nexión a tierra de dispositivos conductivos mono - eléctricos tales como: mesa de operaciones, máqui - na de anestesia, etc., que solo deben ser coloca - dos los dispositivos eléctricos.

El Código señala para un número de 6 enchufes a - tierra por área de anestesia, en muchas salas de operaciones, como en lo que muestro, se puede nor - malmente recomendar que 4 enchufes con línea de - tierra sean puestos en cada uno de los módulos. - El Código también requiere que toda superficie me - tállica conductiva instalada permanentemente sea co nectado a colector de tierra de la sala mediante - el uso de un alambre a tierra de 6 mm<sup>2</sup>.

Si un alambre de 50 mm<sup>2</sup>. es usado para interconec - tar todos los módulos a tierra, estas superficies conductivas pueden estar conectadas directamente - al pozo de tierra si este estuviera cercano.

Esta información está también contenida en NFPA - 56A y Art.57 del NEC Americano. Deseo enfatizar - que el tamaño del conductor dado son los que estos requieren cuando el sistema de distribución a tie -

rra es aislado; si es monotorizado una conexión a tierra permitirá una corriente de riesgo máxima de 2 mA, en el área de anestesia, éste es el único sistema permitido por el Código. En el área de cuidados criticos incontrolado, el conductor a tierra tendría que ser significativamente más grande para soportar la diferencia de potencial de 100 milivoltios bajo falla línea a tierra si un sistema de energía fue usado.

## 2. Sistema de Rayos X Portátil o Rodable

Las salidas de Rayos X portátiles o rodables en salas de operaciones o aéreas de cuidados criticos que se requieren 208 ó 240 voltios deben ser suplidas de un sistema de distribución aislado aparte.- Ha sido un procedimiento común usar un transformador de aislamiento simple para suplir circuitos de Rayos X, tanto como 6 ó más salas de operaciones.

Puesto que un Hospital raramente tiene más que una máquina de Rayos X portátil o rodable para usarlo en la sala de operaciones, si fue hecho, la suposición de que exista de más de una unidad precisamente al mismo tiempo pueda ser desafortunada, pero esto ha sido posible.

Hay circuitos conductores de longitud excesiva en estos sistemas que no podrían ser tolerados cuando usen una línea de aislamiento del monitor dinámico,

Es obvio que la total cantidad de fuga de corriente en un sistema diseñado de esa forma podrían exceder los niveles de peligro que prescriben las Normas, la respuesta en seguida es usar un transformador de aislamiento aparte (con equipamiento aislado) para cada sala de operaciones. El gran costo, sin la mención excesiva de espacio que requieran, se niega esta solución al problema.

Cuando el panel de Rayos X es usado, debe ser ubicado lo más centradamente posible al área que va a servir.

Alimentadores de circuitos deberán ser planeados para una longitud mínima como en el caso de circuitos de 220 Voltios de la sala de operaciones, el límite de la longitud del circuito simple a 45 metros o en otras palabras, en total de 90 metros de conductor en cualquiera de los circuitos.

El voltaje máximo entre líneas no debe exceder a los 300 voltios en el primario ó secundario del transformador de aislamiento, ambos circuitos del primario y secundario deben estar protegidos por dispositivos de sobrecarga adecuados.

La línea de aislamiento del monitor usado para este sistema debe ser usado y calibrado para indicar peligro si el total de índice de riesgo excede los 2 mA. Se debe tener cuidado en como determinar la

línea de tierra de los receptáculos de Rayos X y ser conectado para trabajar con el sistema equipotencial conectado a tierra.

En resumen, el terminal a tierra del receptáculo de Rayos X debe ser conectado al sistema equipotencial de tierra que sirve al paciente al cual servirá el receptáculo de Rayos X.

Recomiendo que el terminal a tierra de la línea de aislamiento del monitor sea conectado al panel de Rayos X y éste conectado al equipo colector de tierra en el panel de distribución de emergencia que sirven a los sistemas de aislamiento de 220 volt. dentro de éstas áreas. En suma un alambre a tierra de 2.5 mm<sup>2</sup>., debe ser conectado entre el panel a tierra de Rayos X y el receptáculo de Rayos X.

### 3. Métodos de Acoplamiento

Ha habido muchos métodos de controlar los sistemas de acoplamiento para los receptáculos de Rayos X - algunos otros que hemos descrito en anteriores párrafos. Escoger uno de los métodos es a un grado, una cosa de preferencia personal. La selección final debe ser hecha después de que los pros y los contras de cada uno de los métodos son discutidos por el Consultor electricista, la Administración del Hospital y cuerpo de Radiología del Hospital. He encontrado que el más aceptado generalmente es

el método del cual he descrito anteriormente. Esto es, tener una serie de botones selectores fijos ubicados en el panel los que controlan la manera de energizar el receptáculo. Si el panel está en un si tío inaccesible, el lugar del botón de ajuste puede ser provisto en un módulo separado, el cual puede ser construido empotrado en la pared en un sitio conveniente ó en la consola de enfermeras de la sala de operaciones.

El módulo escogido puede ser provisto por un Swith ON - OFF en cada receptáculo.

Energizando este swith podría automáticamente y electricamente cerrar o aperturar todos los otros receptáculos. A primera vista esto parece ser el sistema más lógico ya que el técnico de Rayos X pue de controlar la energización de un circuito.

En la zona de Rayos X; en la práctica esto no ha te nido tan buen éxito; pero, si un circuito no es in terrumpido después de ser usado y dejado pendiente, otros circuitos quedan cerrados. Si un técnico en una sala de operaciones no puede dar energía a un circuito, el tiene que inverstigar otras salas de operaciones para encontrar cual es el receptáculo que fue inadvertidamente dejado en posición de ON. Generalmente, las salas de operaciones son conectadas en la estación de Enfermeras, comunicados a

través de algunos medios de intercomunicación o sea ubicar lo suficientemente cerca para que sea posible una comunicación directa verbal.

Esto permite al radiólogo simplemente indicar a la enfermera de la serie del Hospital que energice el circuito en particular que él requiere.

#### 4. Plan para Area de Cuidados Críticos

- Aislador versus sistema de energía conectado a tierra.

Ha habido gran controversia acerca del uso de energía aislada en las unidades de cuidados intensivos/unidad de cuidados coronarios del Hospital. El NEC de 1971, consideró esta área en área de pacientes susceptibles a descargas eléctricas y requiere que no más que 5 mV, bajo cualquier condición, puedan ser desarrolladas entre superficies metálicas conectadas a tierra. El NEC de 1975 ha eliminado el área de pacientes susceptibles a descargas eléctricas y a rectificado las áreas de cuidados de pacientes como :

- . Cuidados Generales. Cuidados Críticos controlados y
- . Cuidados Críticos incontrolados.

El siguiente es un extracto del Artículo 517 del NEC 1975 (Código Americano).

## a. Area de Cuidados Críticos controlados.

Areas donde los pacientes ordinariamente son intensionalmente expuestos a dispositivos eléctricos y donde el gobierno del cuerpo requiere protección (aislación) de conductos cardiacos externos de contacto con otras superficies conductivas, que están diseñados para conexión para tales conductos cardiacos.

## b. Area de Cuidados Críticos incontrlados

Areas donde pacientes ordinariamente son intensionalmente expuestos a dispositivos eléctricos y donde el manejo del cuerpo no hace requisito para la protección de conductores cardiacos sino mas que con los diseñados para el propósito.

La única diferencia entre las áreas controlables e incontrlables, es en que el diseño del conducto cardiaco es desaislado en cualquier momento el área es definida como una área incontrlable. La intención del Código es solo permitir conductos externos cardiacos con mangas aisladas, los que podrían no permitir alguna superficie individual metálica conductiva hacer contacto con la punta expuesta del conductor eléctrico. Si esto pudiera suceder, la sonda puede proveer una trayectoria

de baja resistencia directamente al músculo -  
cardiaco, por lo tanto de allí la importancia  
de tener sondas cardiacas aisladas.

La responsabilidad de designar áreas en el -  
Hospital de acuerdo a la clasificación de pa-  
cientes pertenece a la Administración del Hos-  
pital.

Esta información debería ser derivada al Arq.  
o Ingenieros Consultores en forma escrita pa-  
ra ser una parte permanente del Acta (Inicio  
del Proyecto)

Es responsabilidad del Arquitecto y del Inge-  
niero Consultor guiar a la Administración en  
estas decisiones y luego designar áreas de  
acuerdo con esta información y los códigos.

El siguiente es un extracto del Art.517 del -  
NEC 1975, relativo al criterio de rendimiento  
para las áreas de cuidados críticos controla-  
dos e incontrolables.

- Cualquiera de dos superficies conductivas -  
expuestas alrededor del paciente debe no  
exceder la siguiente diferencia de poten -  
cial en frecuencia Hz. o menos medido a tra-  
vés de una resistencia de 1,000 ohms..

- Area de cuidados críticos controlados :

100 mV bajo operación normal.

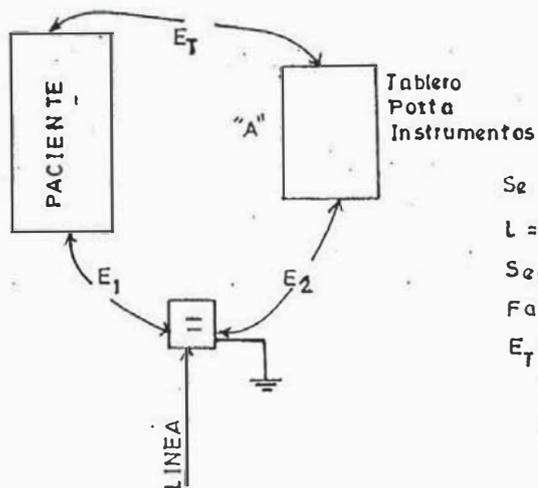
- Areas de cuidados críticos incontrolados :  
100 mV bajo operación normal o bajo condiciones de falla de línea a tierra.

Si el área es diseñada como un área de cuidados críticos controlados, un requisito de 100 mV puede ser obtenida bajo operación normal por medio del uso de alambres a tierra de 2.5 y 4 mm<sup>2</sup>. standard. Como sea, si el área es designada como una área incontrolable. El requisito de 100 mV debe ser mantenida bajo condiciones de operación normal y bajo condiciones de fallas línea a tierra.

El siguiente gráfico compara el uso de un sistema aislado y un sistema a tierra en un área incontrolable cuando la falla de línea a tierra ha ocurrido.

FIGURA N°8

## A. SISTEMA A TIERRA



Se asume  $E_1 = 0$ .

$L = 3.5$  m cordón

Sección:  $1 \text{ mm}^2$

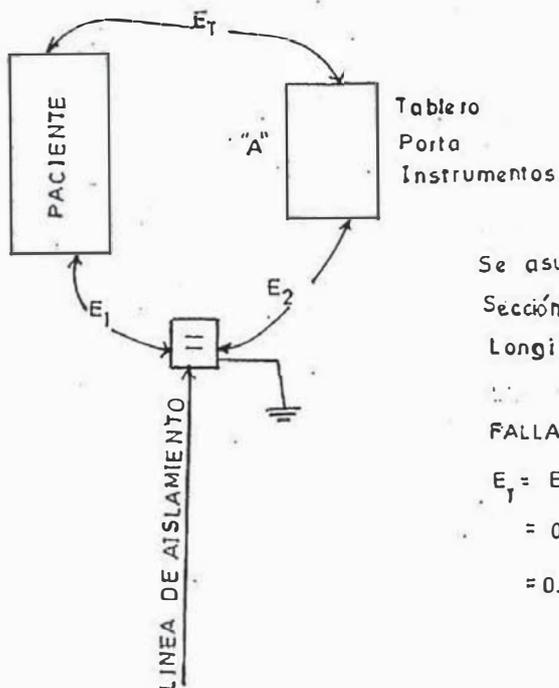
Falla en "A" =  $20 \text{ A}$

$$E_T = E_1 + E_2$$

$$= 0 + 20(3.5 \times 0.02 \text{ } \Omega/\text{m})$$

$$= 1.40 \text{ mV} \text{ - viola el código}$$

## B. SISTEMA AISLADO



Se asume  $E_T = 0$ .

Sección:  $1 \text{ mm}^2$

Longitud =  $3.5$  m

FALLA EN "A" =  $2 \text{ mA}$

$$E_T = E_1 + E_2$$

$$= 0 + 2 \text{ mA}(3.5 \times 0.02 \text{ } \Omega/\text{m})$$

$$= 0.14 \text{ mV}$$

En la Fig. Nº8 si una falla de 20 amperios en un instrumento portátil, los alambres a tierra podrían tener que ser capaces de mantener la energía de 100 mV requerida entre la caja del instrumento y la cama del paciente, como puede ser visto desde el calculo los alambres de energía a tierra normales no son suficiente para conseguir los requerimientos del Código. En la segunda Figura (b) un sistema de energía aislado es usado para suplir un área del paciente.

Bajo una falla de línea a tierra, he asumido una falla de corriente de 2 mA la que podría resultar en solo 0.14 mV de diferencia de potencial entre el armazon de la cama y la caja del instrumento. Esto está bien, dentro de los requerimientos del Código y prevé un ambiente seguro para el paciente y asistentes.

Debería ser usado un sistema de energía aislado, el Código prohíbe el uso de un transformador para servir más que a una sola.

Si camas adjuntas en la misma sala son servidas, podría ser usado un panel de aislamiento simple.

Un panel de 3 KVA, puede facilmente acomodarse para dar carga ó energía eléctrica a 2 camas.

Con el uso de la línea de aislamiento, el total del peligro corriente de las 2 camas puede ser significativamente reducido para eliminar molestias de alarma.

#### 5. Métodos de Alarma

La alarma audible asociada al panel de aislamiento no debería ser nunca situado cerca de la cama del paciente ó a veces en la misma sala.

El sonido de una alarma tal podría alarmar desagradablemente al paciente, un aparato de luces indicadores normalmente debe ser montado ó luces adicionales podrían ser montadas sobre un panel indicado en "2", una alarma de indicación remoto, podría ser montado fuera de la sala del paciente, pero el método preferido es montar estos indicadores en una envoltura común en la estación de enfermeras, este panel anunciador podría contener indicador de alarmas para cada uno de los paneles de aislamiento y podría proveer monitores de todos los paneles en una ubicación. La interconexión de un panel de aislamiento con un indicador de alarma puede ser completado a través del conductor de 10 mm<sup>2</sup>.

#### 6. Receptáculos de Energía

La NEC de 1975 requiere que cada cama del área de cuidados intensivos sea servido por un mínimo

de 6 simples ó 3 receptáculos dobles.

El receptáculo de energía Hospitalario tipo doble esta ahora siendo usado en la mayoría de áreas de cuidados intensivos.

Ciertos Hospitales están todavía requiriendo el uso de receptáculos a prueba de explosión, debido a su incremento de contacto continuado a tierra y su configuración única. Estos Hospitales tienen la necesidad de separar equipos usados entre áreas de cuidados intensivos y cuidados generales y este tipo de receptáculo sirve para este propósito.

#### 7. Sistema a Tierra

Cada cama de paciente ubicada en el área de cuidados intensivos deben ser provistos de un punto a tierra. Recomiendo que este punto a tierra contenga cuatro (4) enchufes a tierra para permitir el contacto a tierra de equipos portátiles no eléctricos. El Código requiere que toda superficie conductiva expuesta del equipo portátil usado alrededor del paciente, incluyendo los de camas de doble aislamiento y no eléctricas, deben ser conectadas al referido punto de tierra. El paciente a tierra, debe ser conectado a la referida conexión de tierra por un conductor mínimo de co

bre de 6 mm<sup>2</sup>.

Un punto que une una sala de Hospitalización debe ser establecido para facilitar el contacto a tierra que toda superficie conductiva expuesta alrededor del paciente uniendo entre estos puntos deben estar complementados a través del uso de un conductor de 6 mm<sup>2</sup> ó más grande.

Los procedimientos de conexión a tierra para área de pacientes críticos son casi parecidos a los seguidos en zonas de anestesia.

#### 8. Configuración del Equipo

Los Arquitectos e Ingenieros a menudo preguntan acerca de los tipos de equipos eléctricos y ubicación usados en áreas de cuidados críticos, Las siguientes son unas de las cuantas configuraciones posibles :

Figura N°9 : Esta configuración ilustra el uso óptimo de la electricidad, luces, gas etc., y servicios de comunicaciones requerido por los servicios de las áreas de cuidados intensivos. Esto maximiza accesibilidad para componentes claves y permite al servicio médico servir al paciente desde cualquier lado de la cama. El costo del diseño es menor que instalando los componentes individuales y asegura al Hospital un sistema más confiable. Esta configuración puede estar equipado

MODULOS EN CUIDADOS INTENSIVOS

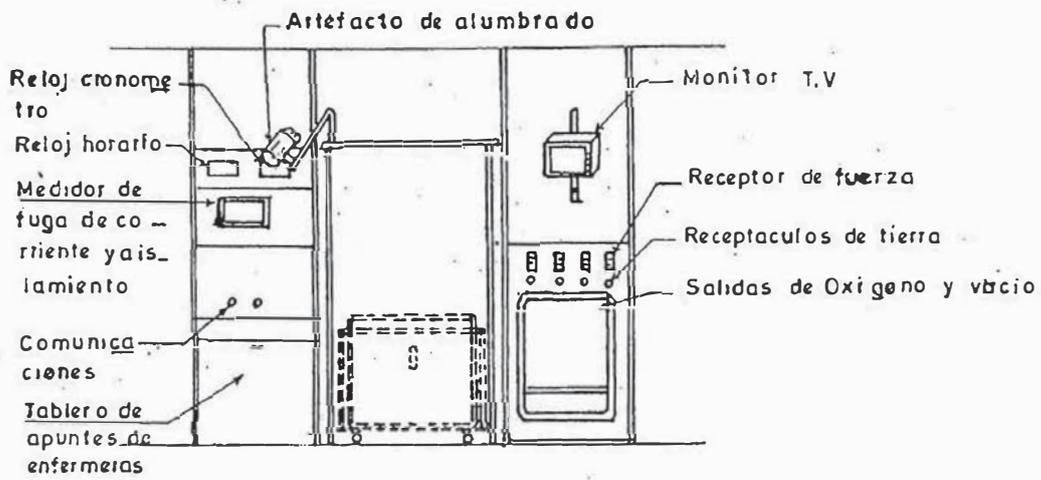


FIGURA N° 9

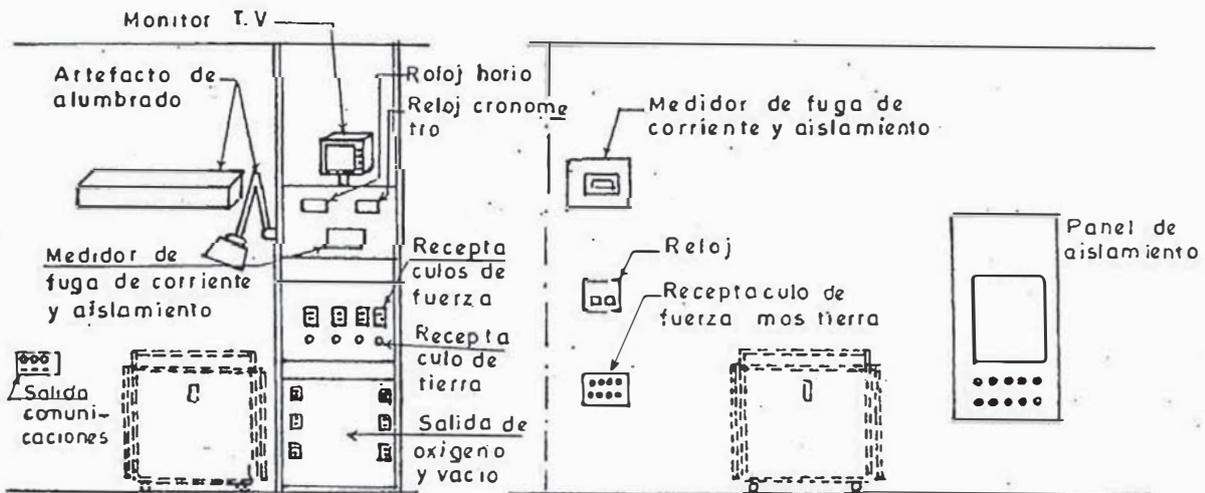


FIGURA N° 10

FIGURA N° 11



FIGURA N° 12

con o sin energía aislada dependiendo de sus requerimientos, el costo adicional del sistema de energía aislada es pequeño comparado con el precio total de la pared. Todo metal conductivo en esta área de pacientes debe ser conectada a un colector de tierra contenido en la pared.

Figura Nº10 : Cuando la economía no permite el costo del módulo anterior, puede usarse el módulo de sección simple. Esta contiene básicamente el mismo equipo que el descrito anteriormente con la versión con ó sin sistema de energía aislada. Cuando es usado este panel, un sistema de energía y un módulo a tierra debe ser ubicado en la parte contraria de la cama del paciente, esto permite que los médicos asistentes tengan accesibilidad a receptáculos de energía con línea de tierra a cada lado de la cama. Este módulo contendrá cuatro (4) receptáculos y al otro lado se ubicará cuatro (4) receptáculos con su respectiva línea de tierra.

Asimismo, toda estructura de acero en los alrededores de la cama, deben ser fijados al colector de tierra. Si hay receptáculos adicionales como para un aparato de TV, a esos terminales a tierra pueden ser fijados directamente al punto de tierra en el panel de aislamiento.

Se recomienda un conductor de 10 mm<sup>2</sup>. que conecte

el módulo a tierra para establecer un mismo nivel de potencial eléctrico.

Figura N°11 : Si la cantidad de equipo usado en el área de cuidados críticos no necesita el uso del módulo indicado en la Figura N° 10, puede ser instalado un panel de energía aislado, separado con una energía de emergencia y módulo de tierra en el lado opuesto de la cama.

El panel de energía aislado puede ser un panel de 3 KVA con receptáculo de energía con línea de tierra construido dentro de la envoltura. Este panel debería ser equipado con enchufes con hojas paralelas en "U" y línea de tierra, ya que la mayoría de pacientes en cama requieren su propio indicador de control de tiempo.

Figura N°12 : Si el Hospital ha establecido el área como un área de cuidados críticos controlados, el Código indica que no necesita energía aislada, en todo caso se requiere un sistema equipotencial y puede ser establecido usando módulos de energía conectados a tierra.

Uno (1) en cada lado de la cama son requeridas las conexiones de tierra, como los detallados en el NEC de 1985, los que deben ser adicionados. Toda superficie metálica conductiva en el área del paciente deberá ser conectada a éstos colectores de tierra, nuevamente recomendando un reloj digital

indicador del control del tiempo.

9. Estación de Enfermeras

La mayoría de las áreas de cuidados críticos requieren equipos monitores de pacientes para ser conectados de vuelta a un punto del monitor central en la estación de enfermeras.

Este equipo es usualmente conectado usando un cable coaxial el que puede actuar como conductor de corriente fallida debiendo una falla desarrollarse en cada final de la línea. Si una falla desarrollada en el equipo del monitor en la estación de enfermeras, una diferencia de energía podría existir entre el monitor ubicado en el paciente y el equipo monitor central. Esto podría causar una corriente fallida a fluir en el área de pacientes, quebrando el protector coaxial, el monitor paciente no elimina este peligro posible, ya que la señal conductora puede todavía llevar corriente fallida. Si un sistema de energía aislada está siendo usado en el área de pacientes, se recomienda que el equipo de monitor central en la estación de enfermeras sea conectado a un sistema de energía aislado para disminuir la magnitud de la posible corriente fallida, este panel debería contener receptáculos de energía a tierra a un módulo de energía y a tierra adyacentes.

La estación de enfermeras debería también conte -

ner una estación de anunciador remoto con una alarma visual y audible para cada panel de aislamiento de cama, más el panel de la estación de enfermeras, no es conveniente poner una alarma audible cerca de la cama del paciente, un anunciador de esta naturaleza situado en la estación de enfermeras podría eliminarse. La Figura N°5, ilustra un área de cuidados críticos típico con la estación de enfermeras asociado. Cuando un panel de energía aislado es usado en la estación de enfermeras, conductores a tierra deberán conectarse al panel de la cama del paciente hacia el panel de enfermeras compensando las energías potenciales a tierra, si el uso del panel de aislamiento de enfermeras separado llegan a ser caras su uso puede ser eliminado. Esto es completado previendo receptáculos de la estación de enfermeras con la energía de la cama de paciente más cercana.

Esto es posible ya que baja el peligro de corriente del monitor. Como sea, esta aplicación tiene una desventaja. El personal de enfermeras no podrá inmediatamente ser capaz de determinar si la falla ha ocurrido en la sala de pacientes ó en la sala de enfermeras.

#### 10. Area de Recuperación

El uso de la sala de recuperación en un Hospital varía de otros, algunos Hospitales usa sala de re

cuperación extensivamente calladas donde el paciente guarda horas antes de ser movido a la unidad de cuidados intensivos.

Durante este tiempo no es común que los monitores de los pacientes ó otros equipos eléctricos sean usados en las proximidades del paciente. De otro lado, algunos Hospitales usan el área de recuperación solo como centro logístico como para facilitar al paciente movimiento directo en el área de cuidados críticos. El uso del área de recuperación debería ser discutido con la junta de Gobierno del Hospital y sistema eléctrico apropiado, ó diseño eléctrico apropiado.

Las áreas mayores de recuperación puede requerir energía aislada. A causa de las sondas internas ó otras vías de baja resistencia presentes en el paciente. Como sea, ya que el paciente esté en el área como para un período de tiempo corto ya que la cantidad de equipo conectado a él es mínimo, no es necesario suplir cada cama con un panel de energía aislada, cuando las camas de recuperación sean puestas juntas unas de otras es recomendable usar un panel de aislamiento para 2 ó 3 camas.

Los módulos de energía de emergencia con línea de tierra pueden ser puestos a cada una de las camas para prever la energía necesaria requerida. Un pa

nel de 5 KVA podría ser suficiente para suplir 2 ó 4 camas. En esta instalación el indicador debería no ser situado cerca de la cama del paciente, sino situado en un punto central como una estación de enfermeras.

11. Zonas Húmedas

Las zonas húmedas que contienen equipos eléctricos son primer blanco de accidentes eléctricos.

Las áreas terapéuticas que usen baños a chorros ó remolinos de agua pueden ser un peligro para el paciente ó para el asistente si una falla eléctrica se desarrolla. En casos como este debe usarse un interruptor de circuito de falla a tierra.

Este dispositivo debe actuar cuando existe una fuga de corriente de 5 mA ó más. Ya que por medio de este dispositivo se interrumpe el circuito, no podría usarse en alguna área de cuidados de pacientes donde la interrupción de energía puede ser mortal para el paciente.

El NEC en el párrafo 517-52 de 1975, requiere el uso de un sistema de energía aislado en una zona húmeda cuando la interrupción de energía bajo condiciones de fallas no puede ser toleradas.

12. Pruebas del Equipamiento Equipotencial a Tierra

El NEC y NFPA N°56A - 1973 cada cual describe un -

método de prueba del sistema equipotencial a tierra completado. Reproduzco el texto en este Estudio, no por que exista confusión ó complicación en estos, sino porque podría ser una guía al diseñador para establecer los parámetros máximos que se puede permitir en sistema equipotencial a tierra.

a. Según NFPA N°56A - 1973, párrafo 3372.

"Un dispositivo aprobado debe ser provisto para que determine la continuidad eléctrica entre el paciente a tierra y cualquier superficie metálica.

Si se efectúa esta prueba, cuando el sistema está usándose sobre el paciente; no es riesgoso para el paciente si es que el circuito a tierra estudiado es defectuoso. La resistencia calculada debe ser menor que 0.1 Ohms".

b. Según NEC 517-51 b6.

"En forma frecuente, pruebas periódicas de continuidad entre el paciente a tierra y cualquier superficie a tierra deben ser tomadas.

La prueba de continuidad debe ser permitido para uno ú otro equipo montado permanentemente ó portátil que deben estar probados para el propósito de verificación".

Volviéndonos a referir a la Figura N°6, las especificaciones de arriba requiere que cualquier dispositivo conectado a los módulos "1", "2" ó "3" deben tener una resistencia desde su envoltura al punto "2" en menos de 0.1 Ohmies. Si asumimos que la Figura N°6 es descriptiva de una sala de operaciones calculado de 6 metros de ancho x 7 metros de largo, entonces el conductor a tierra que corre el punto "2" a la barra colectora en el módulo "3" podría ser aproximadamente 8 metros de largo. La resistencia de 8 metros de largo de un conductor 50 mm<sup>2</sup>. es 0.00245 Ohmies. Si el módulo "3" contubiera ambos receptáculos de energía a tierra juntos con el colector a tierra en este punto podríamos tener una resistencia entre el terminal a tierra del receptáculo de energía y el colector a tierra. Si asumimos que el instrumento que está siendo servido por un receptáculo de energía en el módulo "3" tiene un cordón de 4.5 metros que contiene un conductor a tierra 50 mm<sup>2</sup>. La resistencia de este conductor podría ser de 0.09011 Ohmes. Este podría darnos una resistencia total entre la caja del instrumento y el punto "2" a tierra de 0,09256 Ohmes. Sin incluir cualquier concepción para resistencia a tie -

rra de contacto. Si las conexiones a tierra son hechas aproximadamente esto debe satisfacer los requerimientos del Código.

El ejemplo antes indicado ilustra la importancia de seleccionar las medidas de alambre cuidadosamente para establecer la red de tierra, y aceptando definitivamente que todas las conexiones son apropiadamente hechas con dispositivos aprobados y siguiendo Normas de buen manejo.

La ilustración también muestra la importancia del cordón principal a tierra desde el receptáculo al instrumento, ya que este es el mayor contribuidor de resistencia en la red entera.

Estratégicamente localizando los módulos de receptáculos facilita al Hospital trabajar con los cordones lo más corto posible que es lo importante.

Mostrando la importancia de un tamaño de cordón apropiado y la eliminación de cordones de extensión, esto para la Administración del Hospital y personal de mantenimiento llega a ser una faceta importante del responsable del diseño.

La cita del NFPA N°56A-1973 dados arriba - pá

rrafo 3372, establece que un dispositivo aprobado debe ser provisto por no solo la prueba inicial sino por exámenes periódicos para entrar al área operacional. Este dispositivo debe tener la habilidad de medir resistencia tan bajas como 0.1 y debe ser diseñado como para tener una prueba de voltaje no mayor a tierra examinando esta deficiente ó abierto.

El dispositivo puede ser construido en un módulo ó equipado en una caja portátil. Este dispositivo es un instrumento de escala dual el cual puede medir Ohmes, voltaje en la escala de "0" a "8" mV.

13. Prueba de Campo y Certificación

Debido a la complejidad del sistema equipotencial a tierra y de energía aislada, se recomienda tener el examen de prueba de fabricación del sistema antes de usar. Esta es la única forma de asegurar que el sistema ha sido instalado por el contratista.

El examen que es rendido por el Ingeniero fabricante en la instalación misma es como sigue :

Todos los exámenes sobre la red de sistemas equipotenciales a tierra y monitores de aislación deben estar de acuerdo con el Artículo 517 del NEC promulgado por el NFPA.

Una de las pruebas es de verificar una buena red a tierra. Un transformador de bajo voltaje - gran corriente, es usado para aplicar 20 amperios entre el colector a tierra de la sala en referencia y cada punto a tierra en un área de pacientes electricamente susceptibles.

Esto incluye cada contacto a tierra de cada receptáculo, la disminución del voltaje calculando entre cada punto examinado no puede exceder de un (1) voltio.

El paciente y sala a tierra en referencia son examinados si están instalados.

La diferencia de potencial de los equipos no eléctricos que están al alcance de los pacientes ó cualquiera que toque al paciente es chequeado asegurando que sobre el límite de 5 voltios no se exceda.

El monitor de aislamiento de la línea es examinado así como instalado en el sistema completo. El examen incluye lugares de resistencia, capacidad y fallas híbridas en el sistema de energía aislada.

La respuesta apropiada del monitor de línea aislada y el dispositivo de alarma asociada es luego observado. Si se observa una operación inapropiada, son tomados los pasos correctivos y el

sistema completo es examinado para asegurar una operación apropiada.

La impedancia del sistema aislado (impedancia a tierra de cada conductor) es también examinado. Esta debe exceder los 500,000 Ohms. conforme al NFPA 56A y el NEC.

La instalación total del equipamiento aislado es inspeccionado en conformidad con los Códigos que Gobiernan la instalación para asegurar que no hay violación del Código.

14. Lista de Importancia en una Instalación

- a. Situar los paneles de aislamiento tan cerca al punto de uso como sea posible.
- b. Conservar los circuitos secundarios del sistema de aislamiento en un mínimo de longitud.
- c. Los tubos PVC úsese en circuitos secundarios cuando no pasen ó entren a través de áreas de peligro, consultar a las autoridades y Códigos locales y usar mejor alternativa si el PVC no es permitido.
- d. Que los conductores a tierra corran separadamente desde el circuito de energía en sus propios tubos, chequear Códigos locales autorizados.
- e. Seguir las especificaciones para codificar el

- color apropiado de todos los conductores de acuerdo con el NEC.
- f. Toda sección del alambre del circuito es especificado para ser del tipo de baja fuga.
  - g. Se ha de evitar las cajas de empalme ó de pase. Todos los ramales de circuitos sirven directos.
  - h. No está permitido lubricantes que pulen alambres. Los contratistas deberán ser advertidos sobre este no uso en las especificaciones, los tamaños de los circuitos son de un largo suficiente para evitar la necesidad de su uso.
  - i. Se preverá de suficientes enchufes a tierra para equipos no eléctricos en un mínimo de 6. por área.
  - j. Se dará claras y concisas instrucciones relativas a la conexión a tierra al Contratista en las especificaciones y sobre los dibujos incluyendo un diagrama de líneas
  - k. Se a determinar el equipo de Rayos X portátil ó rodable, etc. que el Hospital podría usar y la energía aislada que se requiere para este equipo ha sido previsto en una ubicación conveniente.
  - l. Exámenes, certificaciones e instrucciones para el personal Hospitalario debe ser previsto

dentro de las especificaciones de trabajo.

## 2.05 Sistema de Aislamiento

- Beneficios
- Características de operación
- Aplicación
- Costos

El nombre dado arriba podría aplicarse a un número de sistemas dentro de un Hospital aquellos que manejan a pacientes teniendo un mal contagioso que son incomunicados.

Dudo de cualquier manera, que algún sistema pueda ser más ampliamente usado y menos comprendido que el primero al que me he referido específicamente.

El sistema de aislamiento, el cual espero describir e ilustrar, es el sistema de aislamiento de distribución eléctrica sin conexión a tierra. La mayoría de las enfermeras y físico terapias los usan diariamente, la mayoría de los técnicos responsables de su mantenimiento carecen algunas veces de un buen entendimiento de las características de operación.

Los Ingenieros Consultores y los Ingenieros de Planta de Operaciones, quienes especifican y aplican estos sistemas de aislamiento generalmente tienen una clara composición de ellos.

Parecen tener una barrera para comunicar esta información al operador.

Espero que éste siguiente material los asistirá para ayudar a llenar este vacío en la comunicación.

#### 2.05.1 Sistema sin Puesta a Tierra

Se puede cambiar la energía aprovechada de un receptor a un sistema sin tierra.

Debemos tener primero un aislador del servicio a tierra aunque hay muchas formas de esto, la más común y económica es por medio del uso de un transformador de aislamiento, usaremos la energía eléctrica a tierra aprovechada a conmutar una bobina en el transformador la cual llamaremos la bobina primaria. Esta induce una corriente en la bobina secundaria, la que está completamente aislado de la bobina primaria por acción electromagnética. Es importante anotar que no hay conexión directa entre la bobina primaria del transformador y la bobina secundaria del transformador.

Podemos ahora conectar dispositivos eléctricos en el secundario del transformador y encontramos que podemos completar el mismo trabajo como cuando conectamos nuestro aparato directamente a los conductores del sistema a tierra.

La conclusión es que esta corriente fluirá entre los 2 conductores secundarios del transformador de aislamiento.

Repetiendo los experimentos que viabilizan con el sistema a tierra y la luz, encontramos que conectando un terminal monofásico de la luz a algún conductor secundario del transformador de aislamiento no resultará una corriente circulante (fluyente).

La conclusión que sacamos es que esta corriente no fluirá de cualquier conductor del sistema de aislamiento a tierra. Podemos verificar más ampliamente esto si conectamos algún conductor a la tubería y vemos que no ocurre chispasos y de ningún modo causa la apertura del circuito.

El fusible ó interruptor se abrirá, por su puesto si conectamos los conductores directamente a cada uno de los otros. Poniendo la conclusión en algún término más técnico : "No hay riesgo de potencial a tierra de cualquier conductor de un sistema de aislamiento eléctrico".

Ahora se tiene que probar que los conductores de un sistema de aislamiento son más seguros de coger que los conductores de un sistema a tierra.

#### 2.05.2 Aislamiento Imperfecto

En todos los ejemplos de circuitos de aislamiento que hemos dado hasta aquí, hemos asumido un sistema perfecto. Desafortunadamente un sistema perfecto es imposible - de obtener si regresamos a nuestro ejemplo del transformador de aislamiento, podemos convertir nuestro sistema de aislamiento anterior a un sistema a tierra simple conectando un conductor al secundario del transformador de aislamiento a tierra.

Podemos ahora tener un potencial para corriente que circulará del conductor puesto a tierra. Junto con muchos sistemas de distribución eléctrica puestos a tierra. Esta - puesta a tierra de un sistema aislado puede ocurrir no in

tencionalmente.

## 2.06 Reducción del Peligro Electrostatico

Los requisitos de este párrafo han sido formulados con la finalidad de reducir la posibilidad de descarga de chispas electrostáticas y así la explosión de gases inflamables por la energía así liberada. Hay que cumplir los requisitos cuando se trata de salas anestésicas, corredores que tienen accesos directos a los lugares de anestesia de cuartos tales como los de esterilización que comunican directamente con los lugares de anestesia y los depósitos para agentes anestésicos inflamables ubicados dentro de la unidad quirúrgica.

Como un complemento a lo anterior es que tienen que ser incorporados a la estructura para reducir la posibilidad de descargas de chispas electrostáticas, lo cual representa una fuente frecuente de la explosión de agentes anestésicos inflamables.

La eliminación de cargas electrostáticas depende de la vigilancia de las actividades administrativas en la compra de materiales, la supervisión, y la inspección periódica. Cabe calcular que una cadena incompleta de precauciones aumenta generalmente el peligro electrostático. Por ejemplo, pisos conductivos, pueden aumentar el peligro salvo que todo el personal lleven zapatos conductores y que todos los objetos en el cuarto sean electricamente interrumpidos con el piso.

### 2.06.1 Piso Conductivo

a) La superficie del piso en los lugares especificados indicados en el párrafo anterior, proporcionará un paso de conductividad eléctrica en forma moderada, entre todas las personas y el equipo que hacen contacto con el piso, para evitar la acumulación de cargas electrostáticas tan peligrosas. Ningún punto en un elemento no conductor en la superficie del piso, estará a más de 1/4" de distancia de un elemento conductor de la superficie.

No será necesario instalar una conexión especial del piso a tierra, salvo que las autoridades competentes lo ordenen.

b) La resistencia del piso conductivo será inferior a 1'000,000 de Ohms. medido entre los electrodos colocados con 1.20 metros de distancia entre ellos en cualquier punto del piso.

Este mínimo especificado como una protección adicional contra un choque eléctrico.

En lugares peligrosos un piso conductivo sirve como una medida conveniente para conectar electricamente las personas y los objetos, para impedir la acumulación de cargas electrostáticas. Una resistencia de 5 hasta 10 megaohms entre los objetos y las personas es generalmente suficiente para impedir voltajes peligrosos. El límite máximo de

1'000,000 de ohmies para la resistencia del piso fue elegido, puesto que este requisito cumple con un factor razonable de seguridad y con una provisión razonable para las otras resistencias en el piso conductivo.

El piso conductivo produce un peligro agudo de choque en la ausencia de un sistema eléctrico sin tierra.

Los transformadores de aislamiento tienen que ser instalados simultaneamente ó antes de la instalación del piso conductivo. Una instalación en secuencia invertida representa definitivamente un peligro.

La resistencia de algunos materiales de pisos aumenta con el tiempo. Los pisos de este material deberían tener una resistencia inicial suficientemente baja para permitir la resistencia elevada con el tiempo sin exceder los límites prescritos en el párrafo de pisos conductivos parte anterior y sub-índice b).

Un piso conductivo no requiere una conexión especial a tierra para suprimir la acumulación de cargas debido al movimiento de los objetos ó de las personas que se encuentran encima de él. Para ser efectivo solamente es necesario que sea conductivo y que las personas y objetos sean electricamente conectadas. Considerable conductividad a tierra se logra generalmente con la construcción común, muchas veces debido a la proximidad de ductos conectados a tierra y tuberías de agua. Esta conductividad incide a tierra y la enorme área y por lo tanto la capacidad del piso reduce a la insignificancia cualquier peligro debido a

la entrada de personas u objetos cargados a la zona protegida, siempre y cuando estas personas y objetos tengan conductividad adecuada con el piso. Objetos conectados a tierra dentro del cuarto, tales como equipo eléctrico portátil, serán conectados electricamente al piso según los requisitos indicados en la parte de reducción del peligro electrostático, y así se pone el piso a tierra con que dichos objetos no aumenten el peligro electrostático. Por este motivo, no será necesario incorporar al piso una conexión especial a la tierra para la protección electrostática, salvo que así lo deseen ó que sea obligatorio.

Para el vaciado de estos pisos, es necesario contar con 0.07 metros bajo el nivel terminado. Sobre el falso piso, se procederá a tender una malla de alambre galvanizado con huecos de 2" trasladada a 0.20 metros, una sobre el otro.

Esta malla se entrelazará con alambre de cobre a distancia de 1.00 metros, y fijada en una tubería de agua a un pozo de tierra. Luego será recubierta con gross conductivo con espesor de 0.02 en caso de vaciado en sitio, o de 0.03 en caso de colocar baldosas conductivas de 0.60 x 0.60 x 0.04.

Este gross conductivo, será una mezcla de una bolsa de cemento gris corriente, 3 bolsas de arena gruesa (de 1/64 a 5/16) y 12 kilos de pasta conductiva.

Esta mezcla debe ser hecha en la forma más pastosa dado que este material es de fragua lenta y debe batirse en máquinas mezcladora por 5 minutos y aplicada inmediatamente.

Al día siguiente se procederá a armar los cuadros con sepa-

raciones de platina plástica no conductiva a 0.90 x 0.90 - mm. y se procederá a llenar la base con gross conductivo - de la misma característica que el aplicado sobre la malla de sub-base, dejando 0.01 para el material acabado.

A las 24 horas siguientes, se aplicará el material de acabado que consistirá de una bolsa de cemento gris, 2 bolsas de granilla de mármol blanca y negra de 1/4" y 9 kilos de pasta conductiva. Al igual que el gross; este material se rá lo más pastoso posible y debe batirse en máquina por 10 minutos y aplicado de inmediato. Se recomienda asimismo - darle lo más posible de ajuste.

Para proceder a la repulida con su respectivo emporre, de be esperarse 15 días para la pulida final. Estos pisos no deben sellarse, no encerarse y su limpieza se hará con tra po humedecido en agua pura.

El consumo de pasta conductiva por 2 metros de sub-base, ba se y material de acabado es de 7 kilos m/m.

#### 2.06.2 Métodos de Prueba

##### 1. Medición de Piso Conductivo

- a) El piso sera limpio y seco y el cuarto libre de ga ses inflamables.
- b) Cada electrodo pesará 5 libras y tendrá un área de contacto limpia, plana, redonda de 2.1/2" de diáme tro que consiste de una superficie de folia de alu minio ó de estaño de 0.0005 a 0.001" de grosor re forzada por una capa de caucho de 1/4" de grosor y

que mida entre 40 y 60 dureza en el durómetro Shore Tipo A ó similar (Asociación Americana para examinar materiales método tentativo de prueba de mellado de caucho por medio de un durómetro, ASTM - designación D676 - 49T, obtenible de ASTM, 1916 - Race St.)

- c) La resistencia sera medida con un OHMETRO calibrado y adecuado, trabajando con un voltaje de salida circuito abierto, nominal de 500 voltios D.C. y una corriente de circuito de 2.5 a 10 miliamperios.
- d) Las mediciones serán tomadas en cinco o más lugares de cada cuarto y luego se sacará un promedio del resultado. De acuerdo con el párrafo de piso conductivo parte b), el promedio se encontrará dentro de los límites especificados y ningún valor será superior a 25,000 Ohmies. Donde se mide la resistencia a tierra, dos mediciones deberán realizarse en cada lugar intercambiando los conductores de ensayo en el instrumento, tomando el promedio como la resistencia a tierra a este lugar. Todas las mediciones deben ser leídas con el electrodo ó los electrodos más de 1.0 metros de distancia de cualquier conexion a tierra ó un objeto conectado a tierra que se encuentre en el piso.

NOTA : Si la resistencia cambia notablemente con el tiempo durante una medición, el valor observado después que el voltaje ha sido aplicado durante -

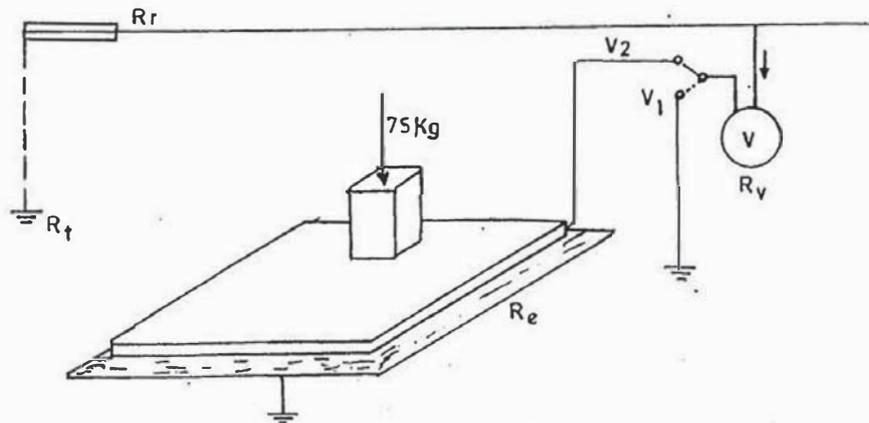
aproximadamente cinco segundos, será considerado como el valor medio.

- c) La resistencia estática del piso conductivo terminado y seco no será mayor de 1'000,000 de Ohmies., midiendolo entre dos electrodos colocados a 1.0 metro de distancia en cualquier punto del piso (cada electrodo debe pasar 5 libras y tendrá un área circular de contacto de 2.1/2" de diámetro; y mayor de 25,000 Ohmies. en el caso de ser conectado a una cañeria con agua permanente. No es necesario conectar la malla si hay cañería de agua operando cerca.

## 2. Resistencia de Emplazamiento con punto Neutro

En los distintos pisos con revestimientos las Normas VDE establece que para medir la resistencia de redes con punto neutro puesto a tierra, se cubrirá el piso, en el lugar que se efectuará la medición, con una tela húmeda de 27 x 27 cms., sobre la cual se colocará una chapa metálica de 24 x 24 cms., con objeto de lograr una uniforme transmisión de la presión, y encima una placa de madera de estas mismas dimensiones. El conjunto así dispuesto se cargará con un peso de unos 75 Kg.

Fig. N°13.



Donde :

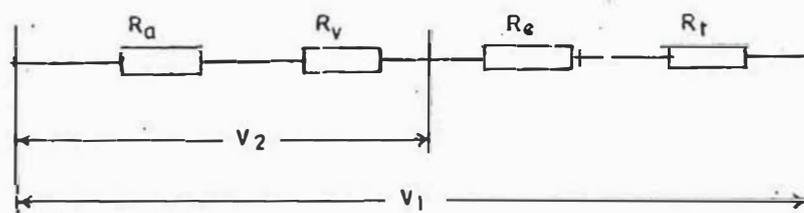
$R_r$  y  $R_t$  : Resistencia de la red y transformador, despreciable comparado con la resistencia de emplazamiento  $R_e$

$R_v$  : Resistencia del voltímetro.

$R_a$  : Resistencia del conductor por fase.

$R_e$  : Resistencia de emplazamiento.

Del gráfico se tendrá el siguiente circuito :



Luego se establecerá las siguientes ecuaciones :

$$V_1 = IR_v + IR_e$$

$$V_2 = IR_v$$

Dividiendo :

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I(R_v + R_e)}{I R_v} = \frac{R_v + R_e}{R_v} \Rightarrow R_v + R_e = \frac{V_1}{V_2} \cdot R_v$$

Factorizando :

$$R_e = R_v \frac{(V_1 - V_2)}{V_2}$$

Para otros valores de la resistencia interna de  $R_v$  hay que conectar en paralelo al voltímetro una resistencia de :

Asumiendo inicialmente  $R_v = 2500$

$$R = \frac{2500 \cdot R_v}{R_v - 2500}$$

### 2.06.3 Indicaciones de Colocación y Prueba de pisos de Terrazo Conductivo.

1. La superficie al recibir los pisos conductivos deberán estar limpios y libre de grasa.
2. La mezcla para el piso (cama) consistirá de una parte de cemento portland y cuatro de arena limpia. Mezclese bien la arena con el cemento con agua limpia, potable y añadir luego la pasta conductiva preparada, en una proporción equivalente al 3% del cemento seco. Luego de añadir la pasta rotese la mezcladora por un mínimo de un (1) minuto. No continuar accionando la mezcladora por más de tres (3) minutos.
3. Malla de metal : Embebida dentro de la cama; las baldosas se instalarán con una malla metálica de alambre de fierro galvanizado o cobre. Esta malla no será menor en espesor de 18 (gauge) si se trata de alambre de fierro galvanizado; o 20 (gauge) si

se trata de alambre de cobre. Colóquese la malla traslapándose dos costados de cada pieza con el fin de que la superficie quede uniformemente cubierta con ésta.

4. Extender uniformemente el mortero resultante sobre el falso piso dejando la luz necesaria para la colocación de las baldosas.

5. Colóquese las baldosas conductivas.

6. El fraguado de las baldosas será efectuado con el mismo material de la cama.

7. Mantener la habitación donde se van a instalar los pisos conductivos a temperatura por encima de cero grados durante la instalación y por lo menos una semana después de terminado el piso.

8. Los pisos conductivos no deben ser encerados o cubiertos por ningún material extraño lo cual haría inefectiva su conductividad. Su mantenimiento debe efectuarse solamente con agua limpia sin uso de ningún limpiador.

#### 2.06.4 Especificaciones para la Colocación de baldosas Conductivas

Las baldosas conductivas reemplazan el uso del terrazo conductivo, con las ventajas de que se evita el pulido en obra, no se necesita mano de obra especializada, no es necesario el uso de plaquinas especiales (importadas) y es más rápida su colocación. Todas estas ventajas son ma

yores para obras en Provincia.

Para la colocación es necesario contar con un espesor de 0.07 mm. bajo el nivel terminado.

Sobre el falso piso se tenderá una malla de alambre galvanizado de máximo 2" x 2", traslapada en los extremos 2 cuadros como mínimo, la malla de alambre galvanizado, será entrelazada con alambre de cobre a cada metro y fijado éste alambre a un pozo de tierra o tubería galvanizada de agua.

Luego del trabajo descrito anteriormente se procederá al asentado de las baldosas con un "gross conductivo" de 0.03 cms. de espesor. El "GROSS CONDUCTIVO" es una mezcla de 1 bolsa de cemento gris, 3 bolsas de arena gruesa y 12 Kg. de pasta conductiva. Esta mezcla debe ser hecha en la forma más pastosa ya que el material es de fragua lenta, debe batirse en máquina mezcladora por 5 minutos y aplicar inmediatamente.

Para el fraguado de las baldosas se usara un mortero de las siguientes proporciones :

- 10 Kgs. de cemento por un (1) Kg. de pasta conductiva

El fraguado será simultáneo con la colocación. Este piso no debe ser sellado, ni encerado, ni lavado con jabones; solamente con agua.

El material ha sido usado en diversos Hospitales del país tales como en Chiclayo, Tacna, Toquepala, Iquitos, Minas Madrigal, etc.

### 2.06.5 Descripción de los Sistemas de Protección de los Sistemas de Puesta a Tierra.

La protección de puesta a tierra deberá impedir la permanencia de una tensión de contacto demasiado elevada - en una pieza conductiva (ó masa) que no forme parte del - circuito de servicio (piezas inactivas).

La protección de puesta a tierra se realiza mediante una buena conexión de las piezas de la instalación que deban - protegerse, puede ser de las siguientes formas :

- Por electrodo de tierra, retorno de la corriente a tra - vés de suelo.
- Por líquidos, retorno de la corriente por las tuberías - de conducción de agua.

La corriente de contacto a tierra, debe producir en poco - tiempo la respuesta del órgano ó elemento de protección - contra sobre intensidades más próximas, en cuanto a ten - sión en el electrodo de tierra y, por lo tanto, en la masa ó cubierta metálica del elemento de servicio.

La tensión de defecto no debe superar los 65 voltios, esta tensión queda únicamente determinada por la resistencia - del electrodo de tierra y por la intensidad de la corrien - te que pasa a través de la referida resistencia.

#### 1. Sistema de Protección con Conductores

La resistencia de puesta a tierra en los elementos de servicios protegidos, no debe ser mayor de :

$$R_r = \frac{65 \text{ V}}{I}$$

Donde I es corriente de disparo del órgano protector de sobrecorriente.

$$I = I_n \cdot Q$$

$I_n$  : Corriente nominal del órgano protector.

Q : Factor que depende de :

$$Q = \frac{\text{Intensidad prevista de desconexión}}{\text{Corriente Nominal}}$$

Q : 2.5 Para respuesta rápida

Q : 3.5 Para respuesta lenta.

Entonces :

$$R_r = \frac{65 \text{ V.}}{K \cdot I_n}$$

Así tendríamos para un interruptor de 20 Amp.

- Respuesta rápida : la resistencia del electrodo sería.

$$R_r = \frac{65 \text{ V.}}{2.5 \times 20} = 1.3 \text{ Ohm.}$$

- Respuesta lenta :

$$R_r = \frac{65 \text{ V}}{3.5 \times 20} = 0.92 \text{ Ohm.}$$

## 2. Protección por Tubería de Agua

Si se utiliza este sistema la resistencia del circuito por el que circula la corriente de defecto está dado por la fórmula :

$$R_c = \frac{V}{I}$$

V : Tensión de la red con respecto a tierra.

I : Corriente de disparo o desconexión del órgano - protector de sobre intensidad del elemento de servicio puesto a tierra.

$R_c$  : Estará dado por la suma de todas las resistencias comprendidas en el circuito de corriente del conductor activo.

- Para respuesta rápida :

$$R_c = \frac{220 \text{ V}}{2.5 \times 20} = 4.4 \text{ Ohm.}$$

- Para respuesta lenta :

$$R_c = \frac{220 \text{ V}}{3.5 \times 20} = 3.14 \text{ Ohm.}$$

Si sobrepasa el valor calculado de dicha resistencia, según las fórmulas convendrá no adoptar la puesta a tierra de protección como medida de protección. En estos casos habrá que recurrir a otras medidas de protección.

Las tuberías de material plástico en la red de conducción de agua, aumentan considerablemente la resistencia del circuito, haciendo imposible la puesta a tierra de protección, toda vez que la reducida conductividad del agua no mejora en modo alguno dicha resistencia.

En tales circunstancias, la instalación de conducción de agua solo puede considerarse como electrodo de tierra individual y no como parte del circuito de la corriente de fuga ó falla.

Para el mejoramiento de las resistencias de paso en las tuberías principales de conducción de agua entre sí, se han propuesto varias soluciones. El sistema más sencillo parece ser unir mediante soldadura los extremos de las tuberías con alambre de fierro.

### 3. Sistemas de Conexiones Equipotenciales

Este sistema tiene por finalidad impedir que aparezcan tensiones de contacto demasiado altas. Se consigue esto uniendo todas las masas de los aparatos receptores de la instalación a proteger con los electrodos de puesta a tierra por medio de un conductor de protección, logrando así la compensación del potencial deseado.

La diferencia principal con respecto a las demás medidas de protección con conductor de protección, reside en que en este caso lo que se exige, en primer lugar, no es la desconexión de la instalación, sino la indicación del estado deficiente del aislamiento.

Para esto se cuenta con dispositivos de vigilancia que indican el estado del aislamiento, accionando un relé ó alarma cuando el aislamiento baja de un mínimo

### 4. Conductores Auxiliares de Puesta a Tierra, Conductores de Protección

El conductor auxiliar de puesta a tierra se tenderá aislado respecto al conductor de protección y la masa del aparato que se haya de proteger, así como respecto a las piezas constructivas de éstos que es

tén en unión conductora con el aparato, evitando de esta forma que la bobina detectora de la falla a tierra pueda quedar en cortocircuito.

El conductor auxiliar de puesta a tierra se tenderá aislado con objeto de que en caso de un defecto de aislamiento en un conductor de fase ó en el neutro, no fluya corriente por aquél y, por tanto, para que en el electrodo de tierra no surja una tensión demasiado elevada.

El conductor de protección deberá estar conectado únicamente a las masas de los elementos eléctricos de servicio cuyos conductores de alimentación se desconecten por el interruptor protector en caso de defecto, si es posible, se tendrá también aislado el conductor de protección.

Además, las líneas auxiliares de puesta a tierra deberán ir siempre protegidas, cuando pasen a través de cielos rasos ó paredes.

Como electrodo de tierra auxiliar hay que emplear un electrodo especial, que no debe encontrarse dentro de la zona de tensión de otros electrodos. Por tal motivo, dicho electrodo no deberá quedar a una distancia de menos de 10 metros de los restantes; si existen electrodos para pararrayos los electrodos auxiliares no se instalarán a menos de 20 metros.

##### 5. Interruptor Diferencial de Protección

Este interruptor es de alta sensibilidad, desconecta el sistema a una corriente de miliamperios que esta fuera de los límites de peligro para la persona.

En caso de una interrupción del conductor de protección, la misma persona se convierte en tal conductor, si toca al equipo en el que se produce el defecto. La corriente que pasa a través del cuerpo del paciente, es decir, la corriente de defecto, produce la desconexión del interruptor diferencial. El paciente apenas resulta afectada, pues la corriente que fluye por el cuerpo lo hará sólo durante muy corto tiempo, por lo que el resultado no puede ser un accidente mortal. Se utiliza éste interruptor como control ó vigilancia de las corrientes de fuga ó bien como protección cuyo aislamiento de protección pueda ser puentado por impurezas.

Por otro lado en presencia de una tensión demasiado elevada en el conductor de la toma de tierra, debe producirse por la acción de la resistencia de dicha toma y la corriente de disparo del órgano de protección. Si la corriente en el electrodo de tierra es superior a la que corresponda, según sea la tensión de 64 V. ó bien 24 Volt., debe producirse la desconexión.

La resistencia del electrodo de tierra no debe ser mayor de :

$$R_r = \frac{65 \text{ V}}{I} \text{ ó } \frac{24 \text{ V}}{I}$$

Al rebazar éste valor se produce la desconexión dentro de los 0.2 seg.

TABLA Nº 5 : Tabla de resistencias de puesta a tierra máximo para ser usado con los interruptores diferenciales.

Corriente de Fuga (AMP)	Resistencia puesta a tierra máx.	
	Hasta 65 Volt. (Ohms)	Hasta 24 Volt. (Ohms)
0.3	210	80
0.5	130	48
1.0	65	24
1.5	40	15
3.0	21	8

#### 6. Sistema de Protección sin conductor de protección

Consiste en proteger el circuito sin conductor de protección y esto se logra utilizando los siguientes principios :

- Protección mediante separación de circuito.
- Empleo de pequeñas tensiones.
- Aislamiento de protección.

##### a. Protección mediante separación de Circuito

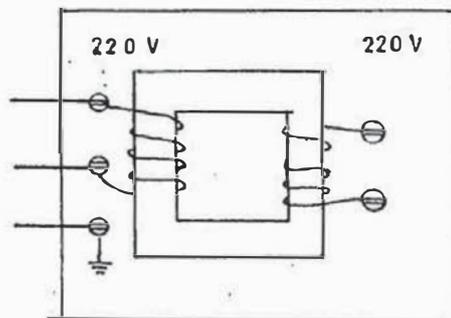
Esto se basa en el principio desarrollado en el CAP.II sobre el transformador de aislamiento que consiste en separar la red alimentadora del circuito de utilización nominal.

El circuito secundario de transformador, no se deberá ponerse a tierra ni unir conductivamente con

otras partes de la instalación, es decir, que el circuito del receptor no tenga punto alguno común con el circuito de la red.

La potencia del transformador no debe pasar de los valores indicados en el CAP. II.

Fig. Nº14



b. Empleo de pequeñas tensiones:

En este tipo de protección la tensión nominal no deberá ser mayor de 42 Volt. ya que hasta 65 Volt. puede considerarse inofensivo para personas adultas.

En el lado de menor tensión de los circuitos de tensión extra baja de protección, no estará permitido :

- Efectuar puesta a tierra.
- Hacer uniones conductivas con instalaciones de mayor tensión.

La puesta a neutro de las masas o la alimentación mediante autotransformador, elimina la separación

deseada del lado de menor tensión del resto de la red y con ello la protección adicional mediante pequeña tensión de seguridad.

Los aparatos destinados a ser eliminados con tensión extra baja de protección, no deberán tener ningún borne de conexión para conductor de protección.

Esta determinación se ha establecido debido a que la protección por tensión extra baja representa ya de por sí una medida de protección, no existiendo otra con conductor de protección que pueda resultar eficaz en este caso.

Si los aparatos contienen partes metálicas que durante el uso normal deberán entrar en contacto con la piel, su tensión nominal no podrá exceder de los 24 Volt. y deberán estar protegidos por aislamientos intermedios.

#### 7. Aislamiento de Protección

En caso de aplicar aislamiento de protección a los receptores eléctricos, se revestirán de manera sólida y durable con material aislante todas las partes conductoras susceptibles de contacto que puedan quedar directa o indirectamente bajo tensión en caso de surgir un defecto.

En la selección de los materiales aislantes para este sistema de protección, se cuidará de que éstos sean

apropiados para soportar los esfuerzos mecánicos y agentes químicos a que deberán quedar expuestos, así como también al calor.

No se admite en la protección por este sistema :

- Revestimientos de barnices ó esmaltes.
- Capas de óxido.
- Envolturas de materiales textiles (forros, envolturas trenzadas, cintas aislantes), aunque sean impregnadas (como en el caso de cinta aislante según VD00340, en lugar del cual se utiliza actualmente cinta aislante plástica).

Los aparatos electrotérmicos flexibles (almohadas, mantas eléctricas y similares) se podrán conectar como los aparatos provistos de aislamiento de protección. En estos casos el aislamiento de protección puede crearse, como en otros aparatos, mediante :

- Envoltura aislante de protección.
- Envoltura aislante intermedia protectora.
- Aislamiento de servicio forzado, si bien sólo para determinadas piezas como, por Ejm. en entradas de líneas y similares.

Además de estas clases de aislamientos las almohadillas eléctricas deben ir protegidas contra la humedad.

Las almohadillas eléctricas pueden ser de cuatro clases :

- Clase 0 : Corresponde a la ejecución de más de 42

Volt.

- Clase 1 : Tiene que ir provisto de conexión para conductor de protección.
- Clase 2 : Debe reunir las condiciones exigidas por el aislamiento de protección.
- Clase 3 : Provisto para bajas tensiones.

## CAPITULO III

### 3. PROCEDIMIENTO PARA EL CALCULO DE PUESTA A TIERRA

#### 3.00 Proceso

Dimensionar eléctricamente un electrodo dispensador significa determinar las dimensiones en función de la resistencia a tierra que se desea obtener.

Al ser la resistividad del terreno  $\gamma$ , sobre todo la distribución de la resistividad datos no siempre bien conocidos, no es posible casi nunca determinar a priori de modo preciso la resistencia de un electrodo. En la práctica se recurre para el dimensionado a fórmulas empíricas o gráficos - que proporcionan una orientación primaria y se comprueba durante la instalación la resistencia obtenida, aumentando eventualmente la profundidad, la extensión o el número de dispersores hasta alcanzar la resistencia deseada.

Se tratará de mostrar en esta parte el procedimiento que se sigue para calcular un sistema de puesta a tierra en forma general, cuyos pasos son los siguientes :

- Determinar la resistividad específica del terreno
- Analizar el tipo de electrodo a utilizar
- Fórmula a aplicar
- Instalación
- Medición.

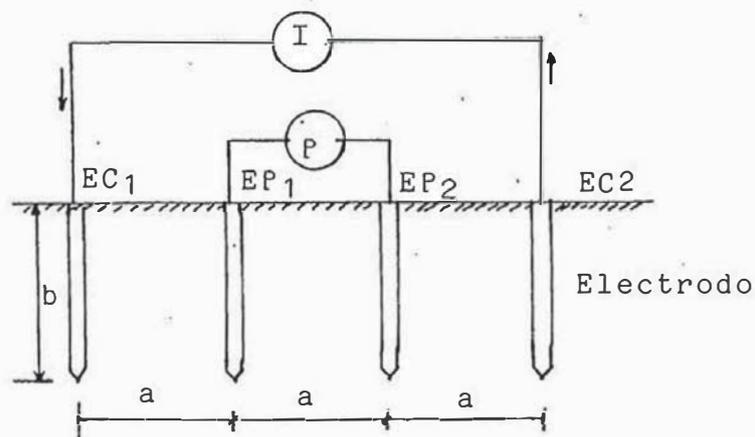
### 3.01 Determinación de la Resistividad Específica del Terreno

La medición específica del terreno se basa en la teoría general de Frank Wenner. A partir de esta teoría se derivan las teorías de Schlumberger, Carpenter, para 2 y 3 capas las teorías desarrolladas por Thaper y Gross.

Existen tablas en que se da resistividades de suelos con grandes intervalos, para los cálculos no deben hacerse interpolaciones.

#### 3.01.1 Método de Wenner

Habitualmente se conoce a la disposición de los cuatro electrodos en línea recta, con igual separación y profundidad de penetración en la tierra.



Por EC<sub>1</sub> y EC<sub>2</sub> : Se inyecta corriente

Por EP<sub>1</sub> y EP<sub>2</sub> : Se obtiene la diferencia de potencial

Luego la resistividad será :

$$\rho = \frac{4 \pi a R}{1 + \frac{2a}{a^2 + 4b^2} - \frac{2a}{4a^2 + 4b^2}} = \frac{4 \pi a R}{n}$$

Donde :

$\rho$  : Resistividad del terreno, en Ohm-metros

R : Resistencia medida, en Ohms.

a : Distancia entre electrodos, en metros

b : Profundidad de penetración de los electrodos, en metros.

n : Factor aproximado que tiene un valor entre 1 y 2 (Depende de la relación b/a)

Si  $b = a$  ,  $n = 1.187$

Si  $b = 2a$ ,  $n = 1.030$

$b=4a$ ,  $n = 1.003$

Si  $b \gg a \Rightarrow \rho = 4 \pi aR$

Si  $b \gg a \Rightarrow \rho = 2 \pi aR$

### 3.01.2 Método de Carpinter

Establece tres configuraciones que se derivan del método de Wenner.

#### Configuración de Electroodos

#### Resistividad del terreno

##### - Conformación No. 1

EC<sub>1</sub> - EP<sub>1</sub> - EP<sub>2</sub> - EC<sub>2</sub>

EP<sub>1</sub> - EC<sub>1</sub> - EC<sub>2</sub> - EP<sub>2</sub>

$$\rho = 2 \pi aR$$

##### - Conformación No. 2

EC<sub>1</sub> - EC<sub>2</sub> - EP<sub>1</sub> - EP<sub>2</sub>

EP<sub>1</sub> - EP<sub>2</sub> - EC<sub>1</sub> - EC<sub>2</sub>

$$\rho = 6 \pi aR$$

##### - Conformación No. 3

EC<sub>1</sub> - EP<sub>1</sub> - EC<sub>2</sub> - EP<sub>2</sub>

EP<sub>1</sub> - EC<sub>1</sub> - EP<sub>2</sub> - EC<sub>2</sub>

$$\rho = 3 \pi aR$$

- Cuando el suelo es homogéneo

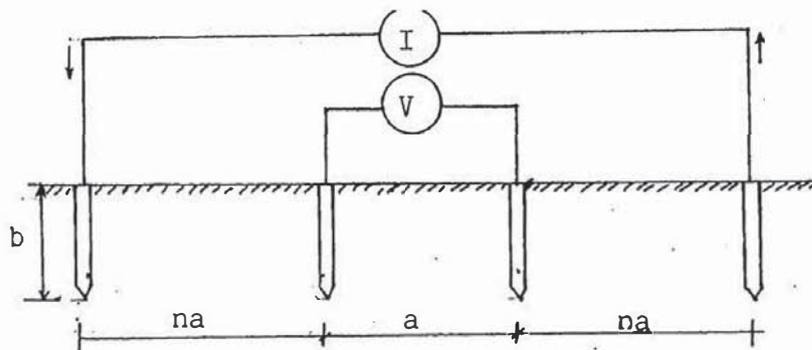
$$3 \rho_1 = \rho_2 + 2\rho_3$$

$$R_1 = R_2 + R_3$$

### 3.01.3 Método de Schulumberger

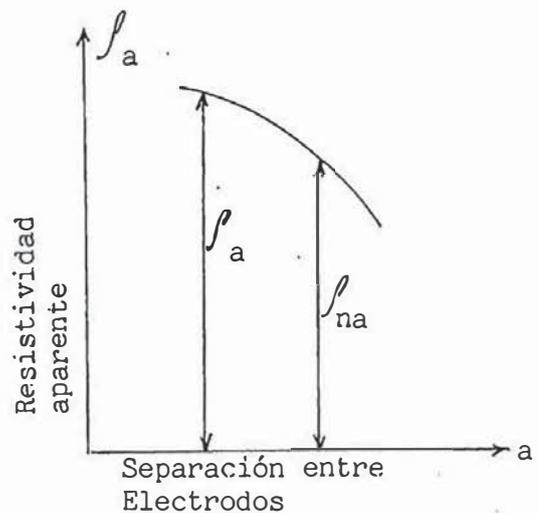
Para este método la separación entre electrodos de potencial se mantiene constante mientras que los electrodos de corriente se varían.

$$\rho = \pi R_n (n + 1) a$$



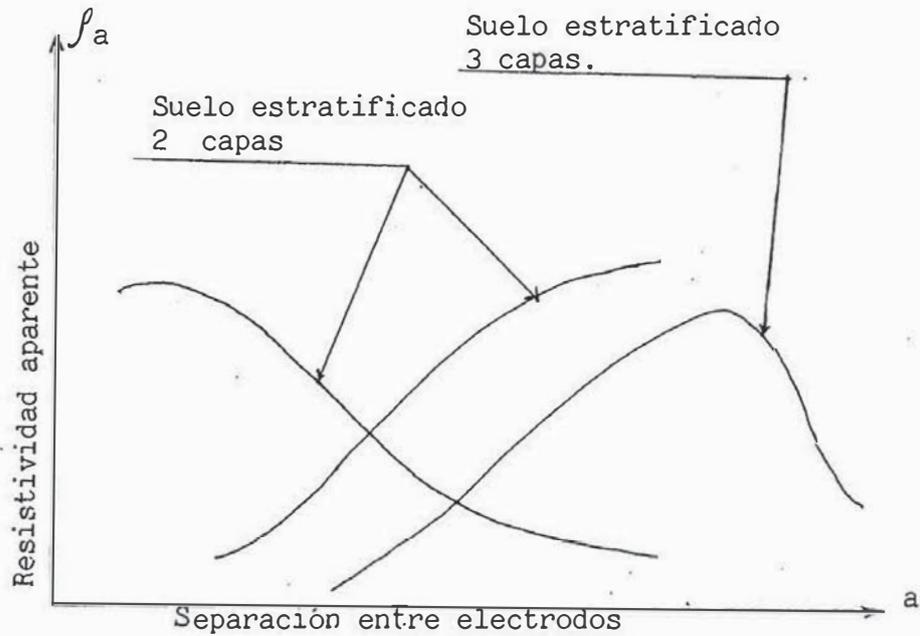
Este método se utiliza cuando el aparato utilizado no tiene precisión para resistencias pequeñas.

Utilizando el método de Schulumberger se obtiene el siguiente gráfico.



Este gráfico demuestra que la tierra no es homogénea.

Realizando mediciones experimentales en campo se obtiene el siguiente gráfico.



Donde :

$$K : \text{Factor de reflexión} = \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_2 + \rho_1}$$

$\rho_a$  : Resistividad aparente calculado por el método de Wenner (Ohm-m)

$\rho_1$  : Resistividad de la primera capa (m)

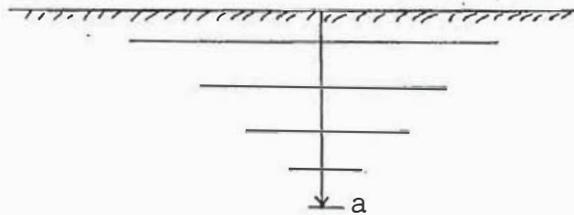
$\rho_2$  : Resistividad de la segunda capa (m)

$h$  : Altura de la primera capa (m)

$a$  : Espaciamiento entre electrodos en el método de Wenner (m).

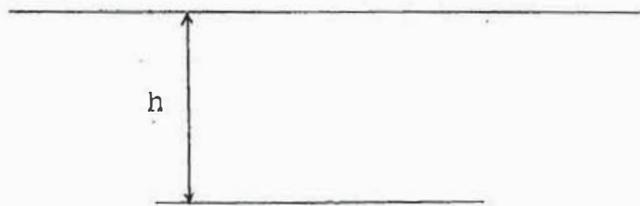
### 3.01.4 Método de Thaper y Gross

El siguiente método explica la variación exponencial de la resistividad con la profundidad.



$$\rho_a = \rho_2 - (\rho_2 - \rho_1) e^{-Ba} (2 - e^{-Ba})$$

Configuración de 2 capas



$$\frac{\rho_a}{\rho_1} = 1 + 4 \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[ \frac{k^n}{\sqrt{1+(2nh)^2}} - \frac{k^n}{\sqrt{4+(2nh)^2}} \right]$$

Tabla No. 7

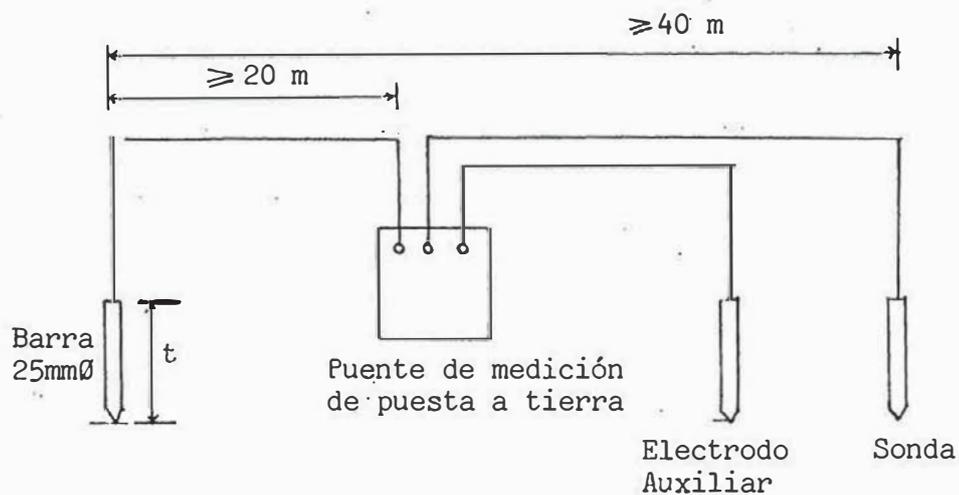
Tabla de Resistividades aproximadas

Naturaleza del suelo	Resistividad Promedio (n - m)
Terreno Vegetal	1 - 50
Arcilla	2 - 100
Arena y grava	50 - 1000
Superficie calcárea	5 - 4000

Arcilla granulada	5 - 100
Roca porosa	20 - 2000
Granito, basalto, etc.	1,000
Roca cristalina	50 - 500
Terreno de cultivo	10 - 100

### 3.01.5 Medición de la resistividad mediante Puente de Resistencias

Se determina de un modo aproximado la resistencia de la tierra. Para ello se hince verticalmente en tierra a una profundidad de 1 metro, una barra de 25 mm. de diámetro. Se determina la resistencia de este electrodo y el resultado se multiplica por el factor 1.24.



Cálculo del factor 1.24

$$R = \frac{\rho}{2\pi t} \ln \frac{4t}{d}$$

$t$  : Longitud de la barra

$d$  : Diámetro del electrodo

Si  $t = 1.0$  mts.

$d = 0.025$  mts.

$$R = \frac{\rho}{6.28(1)} \ln \frac{4(1)}{0.025} = \frac{\rho}{6.28} \ln 160 = \frac{\rho}{6.28} + 5.06$$

$$\rho = 1.24 R$$

Para obtener una lectura casi directa se elegirá

$$t = 1.0 \text{ mts.}$$

$$d = 0.01 \text{ mts.}$$

$$\rho = 1.05 R$$

Así se tendrá :

- Para electrodos de fleje la resistencia aproximada para una longitud "L" será :

$$\rho = \frac{R \times L}{.2}$$

Donde :

R = En Ohm

L = En metros

- Para electrodos tubulares

$$\rho = R \times L$$

- Para electrodo de plancha, con una altura de hasta un metro :

$$\text{Ancho electrodo} = \frac{0.25 \rho}{R} \text{ (m)}$$

### 3.01.6 Precauciones para una buena medición del terreno

- Los electrodos de exploración deberán ser clavados en forma de establecer un buen contacto con el suelo.
- La profundidad de introducción para la medida de resistividad debe ser del orden de 10 a 30 cms. en terreno compacto.
- Para la medida de la resistencia, se debe asegurar al - electrodo de corriente un contacto óptimo, si es posible introduciéndolo a una profundidad de 40 a 50 cms. en terreno humedo.
- Si el terreno es deslizante, remover el material suelto hasta encontrar tierra firme y clavar en él dicho electrodo.
- Si el suelo tiene una capa gruesa de arena o material - suelto, vertir agua en el punto de clavado de los electrodos.
- Verificar el correcto contacto en los puntos de conexión de la bornera del instrumento y en los puntos de toma de los electrodos.
- Verificar los conductores aislados para evitar puntos de desgaste o degradación del aislamiento.

### 3.02 Análisis del tipo de electrodo a utilizar

#### 3.02.1 Electrodo Cilíndrico

Este electrodo es el más importante y difundido de todos los electrodos de tierra.

La resistencia ohmica es función de su longitud cuya fórmula del valor aproximado. esta dado por :

$$R = \frac{60 + 30L}{L}$$

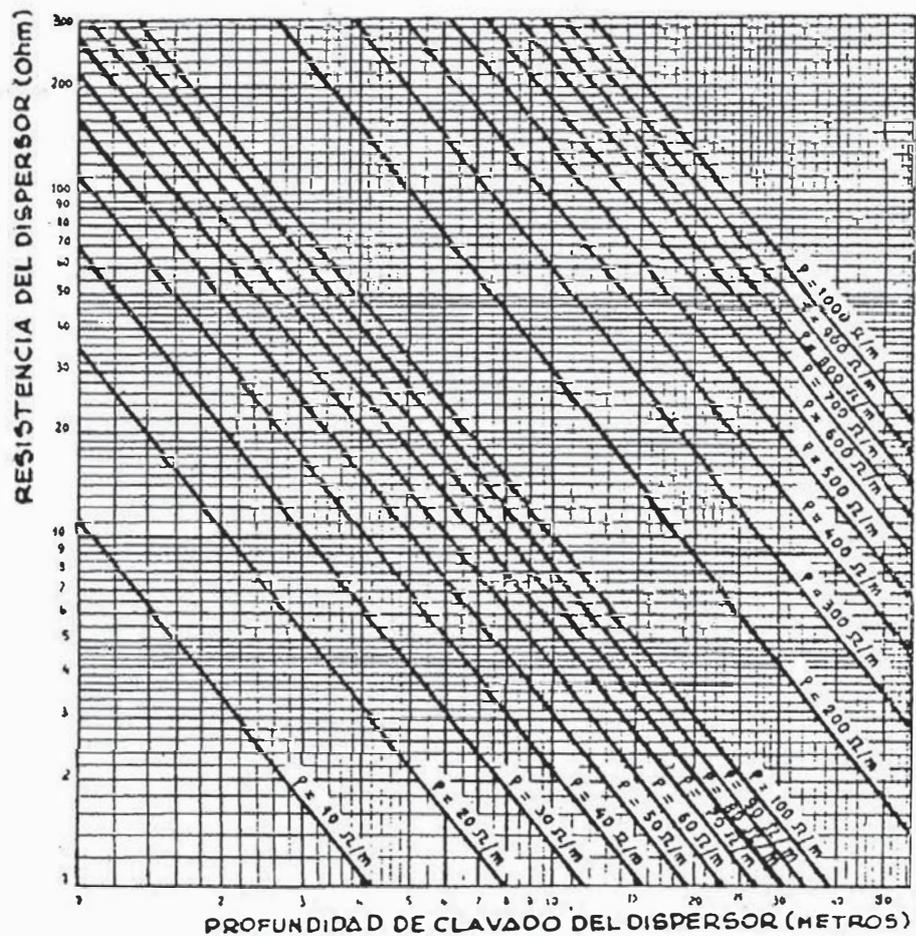
Donde :

L : En metros

R : En Ohmios

Fig. No. 15

Abaco para el cálculo rápido de la resistencia de un dispersor.



### 3.02.2 Electrodo de Placa

Del tipo cobre o de hierro galvanizado, es mas cos toso que el cilíndrico, utilizado cuando es imposible ins talar un electrodo cilíndrico.

La superficie de la plancha a de ser suficiente para obte ber la resistencia de tierra deseada. El espesor de la plancha no debe ser inferior a los 3 mm. (Valor impuesto - por las Normas) a fin de asegurar una robustez mecánica su ficiente y se disponga de la necesaria seguridad contra la corrosión.

Para el dimensionamiento eléctrico del electrodo de placa puede conseguirse aproximadamente con la fórmula :

$$R = \frac{0.36 \times \rho}{100 \sqrt{S}}$$

Donde :

- R : En Ohmios del dispersor  
 $\rho$  : Resistividad del terreno  
 S : Superficie del electrodo en M<sup>2</sup>.

### 3.02.3 Electrodo de Cinta

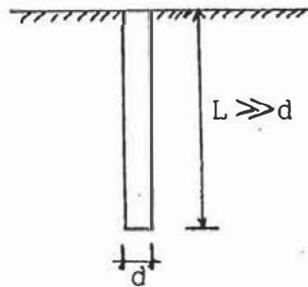
Un hilo, una cinta o una plaquita enterrados hori zontalmente a cierta profundidad, constituyen un electrodo de tierra que encuentra su razón de ser aplicado en los ca sos donde bajo una capa de terreno afloran extractos roco- sos muy duros.

Los electrodos de cinta se entierran a profundidades que varían entre los 50 y los 100 cms. y se realizan con secciones de 25 a 100 mm<sup>2</sup>. en cobre o hierro galvanizado. Es evidente que han de adoptarse las precauciones a que he aludido antes al referirme a los otros tipos de electrodos, para asegurar la necesaria robustez mecánica y evitar la corrosión del electrodo.

### 3.03 Fórmulas a Aplicar

#### 3.03.1 Electrodos verticales o jabalinas

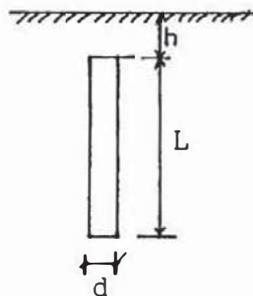
##### a) Al nivel del suelo



$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \log \frac{4L}{d}$$

$$R = \frac{\rho}{2L} \ln \frac{4L}{1.36d}$$

##### b) Enterrado a profundidad "h"



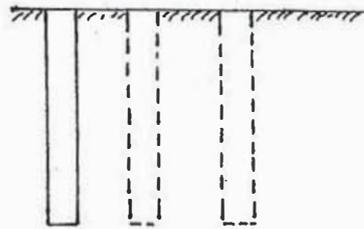
$$2h > L$$

$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \log \left[ \frac{2L}{d} \sqrt{\frac{4h+3L}{4h+L}} \right]$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left[ \frac{4L}{1.36d} \times \frac{2h+L}{4h+L} \right]$$

3.03.2 Grupo de jabalinas paralelas, teniendo en cuenta:  
la resistencia de puesta a tierra de una de ellas :

$$R = R_1$$



- Dos Jabalinas :

$$R_2 = R_1 \left( \frac{1 + \alpha}{2} \right)$$

- Tres Jabalinas :

$$R_3 = R_1 \left( \frac{2 + \alpha - 4\alpha^2}{6 - 7\alpha} \right)$$

- Cuatro Jabalinas :

$$R_4 = R_1 \left[ \frac{12 + 16\alpha - 23\alpha^2}{48 - 40\alpha} \right]$$

Donde :

$\alpha$  : Coeficiente de reducción

$$\alpha = \frac{r}{a}$$

$r$  : Radio de la semiesfera equivalente en metros

$a$  : Distancia entre electrodos en metros.

TABLA No. 6

Radios de la semiesfera equivalente para diferentes longitudes de Jabalinas.

$$r = \frac{L}{\ln \frac{4L}{d}} : r_1 \text{ en metros y en pies.}$$

Radio de la Jabalina Long. de la Jabalina	0.0127 1/2"	0.0254 1"	0.0508 2"	0.0762 3"
1.220 4'	0.216 0.708	0.246 0.807	0.286 0.940	0.316 1.038
1.830 6'	0.302 0.993	0.342 1.121	0.393 1.288	0.430 1.410
2.135 7'	0.342 1.123	0.387 1.270	0.442 1.452	0.489 1.588
2.440 8'	0.385 1.262	0.432 1.418	0.493 1.616	0.548 1.749
2.745 9'	0.430 1.406	0.476 1.562	0.540 1.773	0.588 1.929
3.050 10'	0.465 1.524	0.520 1.702	0.588 1.931	0.639 2.095

También se puede calcular el número de Jabalinas paralelas con las siguientes fórmulas :

- Una Jabalina :

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \left[ \frac{L}{a} \sqrt{\frac{3L + 4h}{L + 4h}} \right]$$

- Dos Jabalinas paralelas

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi L} \left[ \ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{L + \sqrt{L^2 + D^2}}{D} \right]$$

- Tres Jabalinas paralelas

$$R_3 = R \left[ \frac{2 - 4K^2 + K}{6 - 7K} \right]$$

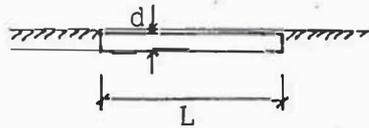
Donde :

$$K = \frac{L}{D \times \ln \left( \frac{2L}{a} \right)}$$

- L : Longitud de la Jabalina en metros  
 a : Radio de la varilla en metros  
 D : Distancia entre varillas en metros  
 h : Profundidad de aterramiento en metros  
 R : Resistencia en ohmios  
 $\rho$  : Resistividad del terreno (ohm-m)

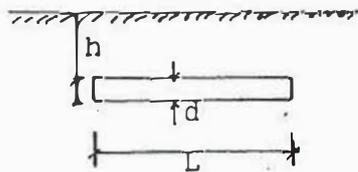
### 3.03.3 Electrodo Horizontal ó Contrapesos.

#### a) Al nivel del suelo



$$R = 0.732 \frac{\rho}{L} \log \frac{2L}{d}$$

#### b) Enterrado a profundidad "h"

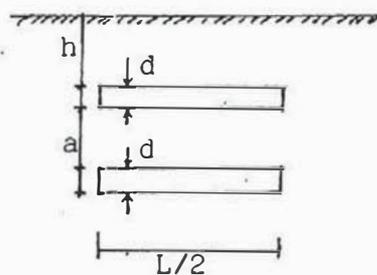


$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \log \frac{L^2}{hd}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \frac{L^2}{1.85 hd}$$

#### c) Dos contrapesos a profundidad "h"

- Disposición paralela

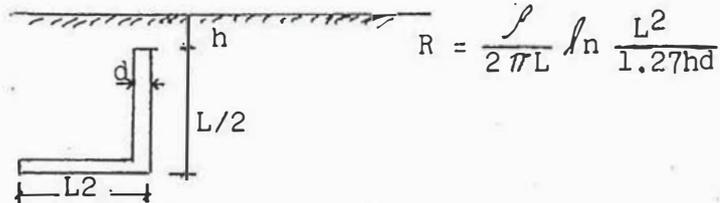


$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^4/16}{3.42 hdaA}$$

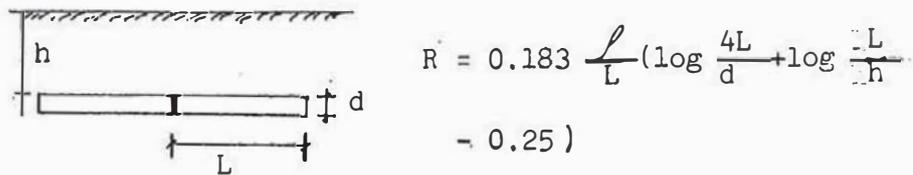
donde :

$$A = \sqrt{a^2 + 4h^2}$$

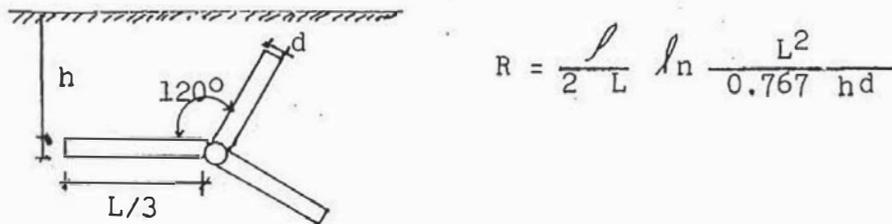
- Disposición perpendicular



- Disposición en oposición

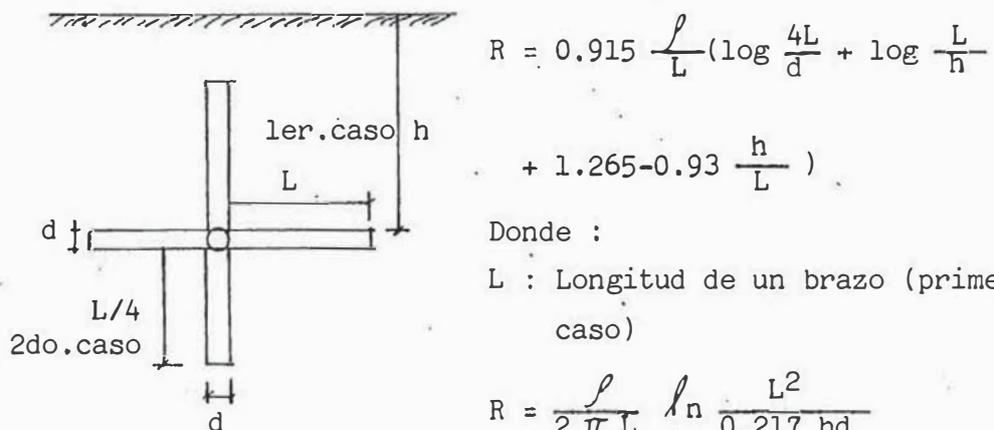


d) Tres contrapesos a profundidad " h "



e) Cuatro contrapesos a profundidades " h "

- Disposición Angulo Recto



Donde :

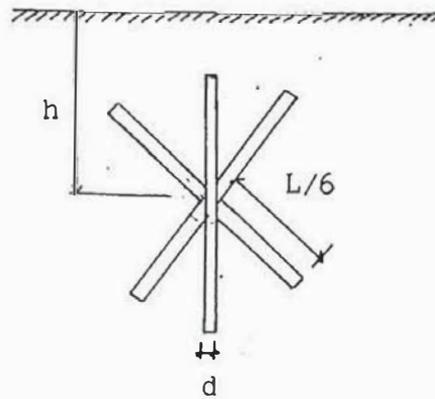
L : Longitud de un brazo (primer caso)

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{0.217 hd}$$

Donde :

L : Longitud total (segundo caso)

f) Seis contrapesos a profundidad " h "



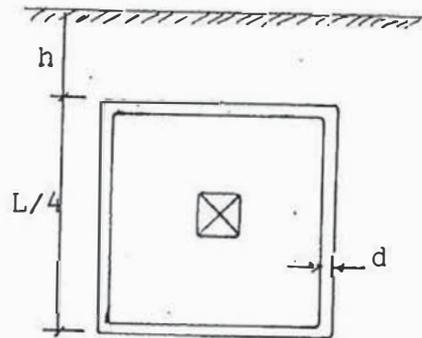
$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \left( \ln \frac{4L}{36dh} + 2.98 - 8.16 \frac{h}{L} \right)$$

Donde: L Longitud total

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{L^2 \times 10^3}{9.42 dh}$$

Donde : L longitud total

g) Cuadrangulo a profundidad " h "



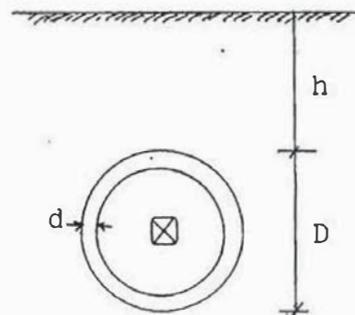
$$L^2 \gg 4 h^2$$

$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \log \frac{4.25L^2}{dh}$$

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \ln \frac{1.621 L^2}{dh}$$

Donde : L longitud total

h) Anillos a profundidad " h "



$$R = 0.366 \frac{\rho}{L} \log \frac{8 L^2}{hd}$$

$$R = \frac{\rho}{L} \ln \left( \frac{1.27L}{a} \right)$$

Donde :

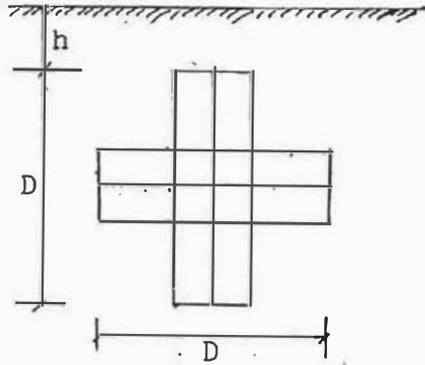
$$L = \pi D$$

$$a = \sqrt{dh}$$

D = Diámetro del anillo

$$= \frac{L}{\pi}$$

i) Malla enterrada a profundidad " h "



$$R = \frac{\rho}{2D} \times \frac{L}{L}$$

Donde :

L : Longitud total

D : Lados iguales.

### 3.03.4 Electrodo compuesto método de Swartz

a) Reticulados

$$R_1 = \frac{\rho}{\pi L} \left[ \ln \frac{2L}{\sqrt{hd}} + \frac{K_1 L}{\sqrt{S}} - K_2 \right]$$

b) Jabalinas

$$R_2 = \frac{\rho}{2\pi Nl} \left[ \ln \frac{4}{a} - \frac{1 + 2K_1 L (\sqrt{N} - 1)^2}{\sqrt{S}} \right]$$

c) Resistencia Mútua

$$R_{12} = R_{21} = R_1 - \frac{\rho}{\pi L} \left( \ln \frac{l}{\sqrt{hd}} - 1 \right)$$

d) Resistencia Combinada

$$R_t = \frac{R_1 R_2 - R_{12}^2}{R_1 + R_2 - 2R_{12}}$$

Donde :

$\rho$  = Resistividad aparente del suelo (ohm-m)

L = Longitud de desarrollo del reticulado (m)

$h$  : Profundidad de enterramiento (m)

$S$  : Superficie cubierta por la malla (m<sup>2</sup>)

$N$  : Número de Jabalinas

$l$  : Longitud de cada Jabalina (m)

$a$  : Radio de las Jabalinas (m)

$d$  : Diámetro del contrapeso (m)

$$K_1 = 1.43 - \frac{2.3 h}{\sqrt{S}} - 0.044 \cdot \frac{A}{B}$$

$$K_2 = 5.50 - \frac{8 h}{\sqrt{S}} + \left(0.15 - \frac{h}{\sqrt{S}}\right) \frac{A}{B}$$

Donde :

$A$  : Lado mayor de la malla (m)

$B$  : Lado menor de la malla (m)

Para un área cuadrada :

$$K_1 \approx 1.4$$

$$K_2 \approx 5.6$$

### 3.04 Aparato de Medición

Para medir la resistencia del terreno se usan los aparatos conocidos como Megger de tierra y por su principio de operación pueden ser de dos tipos :

- Megger del tipo compensación de equilibrio en cero
- Megger de lectura directa.

#### 3.04.1 Megger de Equilibrio en Cero

Genera corriente alterna, se acciona al mover la manija ó el interruptor de presión. Según el sentido de la desviación de la aguja, la resistencia deberá aumentar se (para una desviación positiva) o disminuirse (para una desviación negativa). Con la ayuda de las perillas se logra la estabilidad en el centro de la escala. El valor de la resistencia medida es el que muestran las escalas - correspondientes a las perillas, multiplicando por el factor de escala seleccionada.

#### 3.04.2 Megger de Lectura Directa

Este instrumento genera una corriente continua - por medio de un dínamo accionada manualmente. La desviación de la aguja indica directamente el valor de la resistencia medida en Ohm.

La utilización de este tipo de aparato es ventajoso cuando se tiene resistividades del suelo muy grandes, debido a que en estas situaciones el equipo de balance nulo requiere la inyección de grandes corrientes para lograr la compensación y así permitir la lectura de la resistencia

En este tipo de aparato la corriente directa se invierte periódicamente con el fin de evitar corrientes parásitas de tipo electrolítico presentes en el suelo que pueden alterar las mediciones.

#### 3.04.3 Accesorios

- a. Cables.- Para realizar la conexión de los electrodos a los terminales del instrumento de medición, se debe seleccionar un cable eléctrico aislado y flexible de 1.5 mm<sup>2</sup> ó 2.5 mm<sup>2</sup> TW.
- b. Electrodos.- Los electrodos se construirán de un material que tenga la dureza suficiente para permitirles soportar el trabajo de campo. Por lo general, se recomiendan varillas de Copperweld de una longitud aproximada de 60 cm. y un diámetro de 16 milímetros.
- c. Otros .- Se deberá contar además con una cinta métrica de aproximadamente 50 metros, un martillo con el peso adecuado y un termómetro; asimismo, como equipo opcional puede utilizarse una cámara fotográfica.

#### 3.04.4 Medidas de Seguridad en las Medidas de Campo.

Los cables de conexión al aparato de medición deben manejarse con precaución, debido a la posibilidad de que existan potenciales diferentes al potencial del suelo; las conexiones se realizarán usando guantes aislantes de preferencia. Es de gran importancia cuando se mide la resistencia de un electrodo a tierra, estar lo más lejos

posible del electrodo de corriente en el momento de que se inyecte la corriente al suelo.

Cuando se realicen mediciones con el método de Wenner, se dará una separación entre electrodos de 3 a 5 cm., dependiendo de la profundidad requerida para dar firmeza a los electrodos enterrados. Las mediciones deberán realizarse aumentando la separación entre electrodos de 2 a 3 metros hasta llegar a una separación máxima entre electrodos de  $1/3 L$ .

## CAPITULO IV

### 4. MANTENIMIENTO ELECTRICO Y COSTOS

Desde que la mayoría de los accidentes se han producido en los Hospitales por los desperfectos en los alambrados y por desperfectos en el instrumental se han establecido programas periódicos de mantenimiento.

Los riesgos eléctricos pueden ser reducidos significativamente siempre y cuando un programa de mantenimiento rígido y adecuado sea adaptado.

El sistema permanente de alambrado eléctrico es el que está propenso mas al mal funcionamiento. Sin embargo, cualquier equipo que está alambrado permanentemente en el sistema esta susceptible al desgaste y puede presentar un peligro.

Estas fugas eléctricas son en una gran cantidad debido a su uso tan frecuente y esto no esta solo propenso a la rotura sino que también podrían dejar de alimentar los equipos ó accionar pérdida de tensión.

Esto puede causar una elevada resistencia de contacto en una instalación de puesta a tierra.

En la inspección del receptáculo, un chequeo visual debe hacerse para asegurar de que la cubierta plástica y la placa de cierre no estén dañadas.

Muchas veces cuando los receptáculos son reemplazados se desconocen la marcación de polaridad.

Esto puede pasar en el conductor neutro y la línea de tensión, o al invertir el conductor de tierra con una de las dos líneas. Un serio peligro puede resultar no solo para el paciente sino también para el asistente médico si la polaridad correcta no es ta bien indicada.

Una pequeña verificación de polaridad puede usarse para esta prueba, sin embargo, este tipo de verificación no puede ser usa da en un sistema de potencia aislado dado que éste no es neutro.

Un aislador de tensión debe ser usado en la fuga para así poder verificar el contacto de resistencia correcto.

Muchos Hospitales poseen miles de receptáculos y por eso es difi cil de establecer un programa de mantenimiento periódico.

Se recomienda sin embargo, que los receptáculos sean chequeados en áreas críticas de cuidados intensivos y de anestias con mas frecuencia que en las áreas generales de pacientes.

Un grado de receptáculos "Duplex" duradero o un grado de receptáculo a prueba de explosión debe de usarse para su instalación.

#### 4.00 Sistema de Contacto a Tierra

Desde que el alambre de contacto a tierra juega un rol im portante en la seguridad eléctrica, éste continuamente de be ser asegurado en el sistema eléctrico instalado permanentemente, aproximadamente una vez cada 12 (doce) semanas

la resistencia del equipo de tierra debe ser chequeado. Estos datos de resistencia deben ser registrados y comparados con los valores previos. Si la resistencia está subiendo, una inspección debe realizarse de los contactos.

#### 4.01 Sistema de Potencia Aislado

Antes de iniciar el uso de un sistema de distribución aislado, algunos ensayos deberían estar fomentados a verificar la instalación conveniente del equipo y alambrado. Para conducir estas pruebas, todo el equipo debe estar desconectado del circuito secundario. Estas pruebas/ensayos solo deben ser realizados antes que sean usados por los pacientes. El siguiente procedimiento del ensayo debe ser conducido de la siguiente manera :

1. Conmutar al panel aislado cerrando el contacto del circuito primario pero dejando el circuito secundario suelto.

Revisar para ver que la línea de aislamiento del monitor está operando. Una desviación leve en el medidor es perceptible a la vista é indica peligro de corriente en el monitor más peligro de corriente para el panel de aislamiento.

2. La línea de aislamiento del monitor debe tener un botón (switch) en el trayecto, para así oprimir el botón y asegurar su funcionamiento en el momento de la medición.

Al mismo tiempo chequear las alarmas audibles y visuales sujetos a la línea de aislamiento del monitor.

Estas alarmas deben de ser operadas en condiciones seguras y en condiciones de alarma.

Asegurar que la alarma no sonará cuando el botón de silencio está activado ó presionado.

3. Registrar las lecturas de peligro de corriente para que la línea de aislamiento del monitor haciendo que un contacto del circuito primario esté cerrado. Luego proceda a cerrar un contacto del circuito secundario a tiempo, y registre la lectura de peligro de corriente para solo ese circuito.

Solo un contacto del circuito debe estar cerrado en cualquier momento hasta que el circuito particular indique el peligro de corriente. Si algún circuito mostrara peligro visual de un aumento de corriente alto comparado con cualquier otro circuito, este deberá ser investigado inmediatamente.

4. Determine la línea de impedancia de tierra entre cada uno de los conductores de potencia de tierra. Esta prueba puede ser conducida para cualquiera de los receptáculos y debe ser conectada con todos los contactos secundarios en la posición de apertura.

La línea de aislamiento del monitor debe estar desconectada desde el circuito durante la prueba. La prueba es

ta conducida en un miliamperímetro graduado de 0 a 1 en la escala, entre una u otra línea de tierra y midiendo la corriente.

El valor de voltaje dividido entre el valor de corriente determinará el sistema de impedancia, esta impedancia debe ser mayor que 500 Kohmios para cualquiera de las líneas de tierra. Para un sistema de 220 Volt. esto se compara con 240 microamperios. Esta prueba de sistema de impedancia debe ser conducida sin que ningún equipo secundario esté conectado a los circuitos. Si la impedancia es menor que la que se requiere en el código, el sistema deberá ser investigado y una acción correctiva debe de tomarse.

5. La línea de aislamiento del monitor debe ser medido para asegurar la alarma y determinar el punto de disparo. Esto puede ser hecho poniendo el valor de la resistencia entre una línea y tierra para actuar como cuando existe falla de impedancia.

La falla de impedancia debe ser insertada directamente a la línea de aislamiento del monitor con todos los alambres secundarios desconectados.

La siguiente ecuación puede ser usada para el caso de falla de impedancia cuando :

E = Sistema de voltaje

R = Impedancia en ohmios

I = Asegura el nivel de alarma de corriente de peligro

en el monitor, valor en amperios que asegura al monitor.

$$R = \frac{E}{I}$$

Para una falla capacitiva, use la siguiente ecuación cuando :

E = Sistema de Voltaje

R = Impedancia con la calculada arriba en ohmios

C = Capacitancia en Faradios.

$$C = \frac{1}{0.377R}$$

La línea de aislamiento debe ser alarmada para una impedancia dentro del 10% de su valor, si éste no es el caso, el fabricante debe verificar. Esto podría parecer que el NFPA 56A-1976 recomendara que la siguiente fórmula sea usada si hubiera falla en la línea de aislamiento del monitor :

R = 450 x Sistema de voltaje

Ejemplo : En un sistema que mida 220 V. esta falla de impedancia debe ser :

$$\begin{aligned} R &= 450 \times 220 \\ &= 99 \text{ K ohmios.} \end{aligned}$$

Nosotros recomendamos que el sistema de tierra equipotencial asociado con un sistema de potencia aislado debe ser probado antes de su uso inicial para una continuidad apropiada. Esto puede ser hecho conduciendo 20 amperios entre el colector a tierra en el panel de ais

lamiento y en los receptáculos de tierra. La diferencia de potencial medida entre estos dos puntos no debe de ser en exceso de un (1) voltio. Si así fuera, el sistema de funcionamiento a tierra debe de ser revisado para una conexión apropiada y un tamaño apropiado del alambre.

La prueba a tierra con 20 amperios puede ser usada también para verificar que todos los metales que están dentro del cuarto han sido adecuadamente conectados a tierra. Esto se hace entre superficies metálicas y colector a tierra en el cuarto y verificando la ecuación del sistema R de tierra. Esta prueba puede estar conducida también con un medidor de 0 - 0.1 Ohmios. El Código Eléctrico Americano demanda que no más de 5 milivoltios existen entre la superficie metálica conectada a tierra alcance dentro del paciente o dentro de cualquiera que toque al paciente en el área anestesiada.

Se debe tener un equipo para determinar el voltaje aplicado, además se deberá agregar un equipo de prueba para medir la resistencia de 0.1 Ohmios entre el colector a tierra del paciente y la superficie a tierra dentro del alcance del paciente ó de cualquier otro, o de cualquiera que toque al paciente.

Pruebas periódicas deben ser llevadas a cabo en un sistema aislado. Una vez por semana presionar el botón de prueba de las alarmas asociadas, una falla externa de

impedancia debe de ser calculada como se ha mencionado anteriormente. Mensualmente las lecturas de la línea de aislamiento del Monitor deben de ser tomadas con todos los contactos cerrados y con todos los contactos en posición de apertura.

Esto facilitará el manejo para el sistema alámbrico instalado permanentemente según que estos valores se incrementarán significativamente, un sistema de inspección - debe de hacerse con el fin de tomar una acción correctiva.

#### 4.02 Adaptadores y Cordones de Extensión

NFPA 56A prohíbe el uso de adaptadores y cordones de extensión a pesar de que todavía se usan en Hospitales hoy en día.

El uso de un cordón de extensión en un área de pacientes o en un lugar anestesiado es siempre un peligro ante fallas eléctricas.

Un cordón de extensión, aún cuando la flexibilidad esta propenso a ser maltratado. Frecuentemente, estos cordones están en áreas de circulación.

El conductor externo de tierra no esta conectada usualmente al tornillo de tierra en el receptáculo, esto puede producir un peligro eliminando la conexión a tierra.

Se recomienda que estos adaptadores no sean usados y que los receptáculos sean instalados apropiadamente.

#### 4.03 Mantenimiento de Equipo Médico

Un programa sistemático es necesario para tener la fuerza suficiente para solucionar los programas asociados con el crecimiento del uso de instrumentación biomédica en los Hospitales.

Las reglas para la organización de un programa de instrumentación es que debe conocer las circunstancias locales y pueden ser aplicadas a la mayoría de Hospitales.

Por su puesto, el programa desarrollado debe de aplicarse para todas las áreas de cuidados, pero esto tiene una importancia crítica para las unidades de cuidados especiales cuando la mayoría de los pacientes con enfermedades serias o de cuidado y la mayoría de equipos electrónicos complejos existen :

La clasificación del Hospital y la cantidad de equipo médico determinará, en gran parte, la complejidad del control de un programa del equipo médico.

Lo que viene a continuación es un ejemplo de los componentes con los cuales debería ser una parte integral de cada programa.

1. Un procedimiento establecido el cual ayudará a asegurar que el equipo médico sea alquilado o comprado, servirá para el propósito para el cual se propone a un nivel antipicado de costo, seguro, confiable y efectivo y en la selección óptima de alternativas.

Existen una serie de mecanismos para satisfacer las necesidades de los Hospitales en cuanto a lo que concierne a Equipos Médicos.

Cada situación debe ser analizado de acuerdo a su geografía demografía y en la medida de sus características para de terminar el programa o combinación de programas mas apropiados para ese Hospital ó equipo de Hospitales.

A continuación se han considerado algunos tipos de programas :

a) Servicio de Proyectos y Mantenimiento.- El personal de Ingeniería con conocimiento en medicina son empleados exclusivos del Hospital.

b) Servicio Compartido.- Esencialmente es el mismo que en el servicio de proyectos y mantenimiento, excepto que los Ingenieros con conocimientos en medicina trabajan para dos ó mas Hospitales en combinación.

Hay varias opiniones para compartir el costo y capacidad del personal médico Ingeniero en los Hospitales.

c) Servicio aparte.- El personal que tiene aptitudes de médico-Ingeniero no esten considerados como empleados en los Hospitales.

Que siendo Ingeniero posee aptitudes relacionadas con la medicina no se le considera como empleado en los Hospitales.

d) Combinación de los servicios antes mencionados.

Hay algunas referencias materiales disponibles las cuales ayudarán a un Hospital a establecer y determinar los tipos de pruebas que deberán de realizar en sus equipos - eléctricos o electrónicos.

Ejemplo de esas publicaciones son :

- Mantenimiento de Equipo electrónico, NFPA 70B-T
- Equipo electrónico para áreas de cuidados críticos, parte 1 y 3.
- Servicio de Sociedad para recursos de enfermedades del Corazón.
- Programas de mantenimiento y selección, publicada por Informe de la Comisión Inter-Sociedad para recursos de enfermedades del Corazón.

Estas publicaciones ponen énfasis en la necesidad de un mantenimiento continuo en los equipos eléctricos o electrónicos.

Estas publicaciones nos informan que las pruebas periódicas son conducidas en todo el equipo Hospitalario.

Las piezas del equipo deben de ser marcadas a intervalos - regulares según lo escrito sobre la fuga de corriente.

#### 4.04 Pruebas Continuas de Tierra

Deben de hacerse en la línea de tierra del equipo. Si la resistencia excediera al límite máximo, la línea debe de ser reemplazada. Todas las clavijas de potencia deben ser de un tipo clasificado para Hospitales de servicio fuerte

ó general y deben de ser revisados periódicamente para evitar daños.

El equipo que está conectado directamente al paciente debe tener equipo de medición en caso de fuga en la corriente.

El Hospital debe tener el equipo necesario de prueba para manejar correctamente según los procedimientos.

Los siguientes pasos son recomendados para los proyectos é implementación de un programa de control del equipo médico:

1. Ser competente y asistente en Ingeniería biométrica para los proyectos iniciales y para las fases de desarrollo.
2. Establecer un comité de control en el equipo del sistema instrumental médico.
3. Evaluar algunas alternativas para el programa.
4. Definir e inventariar todo el instrumental médico.
5. Obtener el servicio de Ingenieros con los conocimientos médicos según se requiera.
6. Obtener los instrumentos de prueba necesarios.
7. Desarrollar los procedimientos, especificaciones y otros programas componentes descritos anteriormente.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Dado que en la actualidad se esta incorporando sofisticados monitores electrónicos sensibles a descargas electrostáticas para el tratamiento de enfermos en las salas de operaciones y cuidados especiales es necesario que los diseños de los proyectos eléctricos de las referidas salas estén en función de los equipos que intervienen, así mismo tengan la debida protección contra las fugas de corrientes y adecuado sistema de puesta a tierra.

Los siguientes puntos se deberán tener en cuenta para la ejecución de los proyectos :

- Los conductores deben tener la sección suficiente para tener una caída de tensión de 100 mV. en la longitud comprendida entre el panel de distribución eléctrica aislado y el monitor.
- El tablero de distribución eléctrica que suministra energía a los monitores y artefactos de alumbrado ubicados en las salas de operaciones y cuidados especiales deben tener transformador de aislamiento, es decir, sistema aislado sin línea a tierra. El transformador debe tener una capacidad nominal y clase de aislamiento "H" para soportar aumentos de sobrecarga hasta 150°C. El sistema de alumbrado permite fugas de corriente en el sistema aislado no mayor de 125 nana amperios.
- El sistema deberá contar con un equipo que mida aislamiento y fuga de corriente, la calibración se hará hasta 2 mA, al exceder este

límite accionará un relé desconectando el sistema, ya que estas fugas de corriente causan muchas veces fibrilación ventricular y por consiguiente la muerte del paciente al exceder el límite anteriormente sitado.

- Los conductores deben ser especificados para ser del tipo de baja fuga de corriente.
- El conductor con aislamiento TW no es aplicable para ambientes aislados bajo fuga de corriente, sirviendo solo para linea de tierra, además como line a de tierra deberá instalarse en tubería independiente para evitar fugas de corriente por acoplamiento.

La pared de aislamiento del conductor debe ser 3/64" y mínimo 2/64" para evitar las fugas de corriente.

- Los conductores menores a 10 mm<sup>2</sup>. de sección deben ser instalados atendiendo a la clasificación de los colores que las normas disponen, así por ejem. la línea de tierra debe ser verde para toda instalación.
- No debe existir empalmes en los circuitos de distribución, porque ello contribuye al aumento de la resistividad, debe especificarse este punto.
- Al diseñarse un proyecto en Hospitales debe considerarse las des - cargas electrostáticas en los lugares donde puede ocurrir este fenómeno, ya que este es un peligro para los monitores electrónicos. El estudio debe hacerse atendiendo las condiciones climáticas de cada región del país.

En el presente estudio se da pautas de diseño y la forma de evitar lo ya que en el Perú no existe un diseño aplicado para este caso.

- Para evitar la acumulación de cargas electrostáticas el ambiente se mantendrá en una humedad relativa en 25% a 40% que es óptimo, bajo el 25% el peligro electrostático aumenta y altas humedades grandemente reduce estas descargas pero aumenta la corrosión. Esto debe tenerse en consideración para Hospitales y Centros de Cómputo.
- En Salas de operaciones donde se tiene la seguridad que se usará anestésicos explosivos no se usará tubería PVC hasta 1.50 mts. bajo el ambiente.
- Para el cálculo de los sistemas de puesta a tierra se usará las fórmulas presentadas atendiendo a las condiciones del terreno y resistividad del mismo.

Finalmente el sistema de aislamiento que se plantea en este estudio no ha sido diseñado para ningún Hospital del Perú, por lo que se espera implementarlo a través de la Dirección de Infraestructura Física del Ministerio de Salud.

## BIBLIOGRAFIA

- 1.- Agencia Nacional de Protección contra incendio - NFPA (Código Americano).
- 2.- Código Eléctrico Americano - NEC
- 3.- Normas VDE de protección eléctrica.
- 4.- Electrical Safety in Health Care Facilities - Autor Herbert H. Roth, Erwin S. Teltscher, Irwin M. Kane.  
Edición 1975.
- 5.- Pararrayos - Autor R. Casagrande, C. Clerici.  
Edición REDE - España.
- 6.- Hospital isolating systems - Square D. Company.  
Edición 1985
- 7.- Sistema de Control Antiestático 3 M.  
Edición 1986
- 8.- GTE-LENKURT - Descargas Electroestáticas  
Edición 1980 - California.

