

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

**ANALISIS DE TIERRAS
PARA LA INDUSTRIA**

TESIS

**PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERIA**

POR

CESAR HUMBERTO DE LEON MONTENEGRO

AL CONFERIRSELE EL TITULO DE

INGENIERO ELECTRICISTA

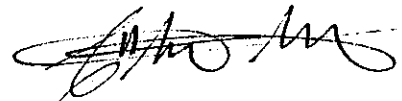
GUATEMALA, OCTUBRE DE 1996

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

08
T(3068)
C.4

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de tesis titulado "Análisis de Tierras para la Industria", tema que me fuera asignado por la dirección de la "Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica", con fecha 15 de noviembre de 1993. No.EIME 314.93.



Cesar Humberto De León Montenegro

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Miembros de la Junta Directiva

DECANO:	ING. JULIO ISMAEL GONZALEZ PODSZUECK
VOCAL 1o:	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ GUERRA
VOCAL 2o:	ING. JACK DOUGLAS IBARRA SOLORZANO
VOCAL 3o:	ING. JUAN RODOLFO ECHEVERRIA MENDEZ
VOCAL 4o:	ING. FERNANDO WALDEMAS DE LEON CONTRERAS
VOCAL 5o:	ING. IGNACIO ESCALANTE PASTOR
SECRETARIO:	ING. FRANCISCO JAVIER GONZALEZ LOPEZ

TRIBUNAL QUE PRACTICO EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	ING. JORGE MARIO MORALES GONZALEZ
EXAMINADOR:	ING. MIGUEL ANGEL SANCHEZ
EXAMINADOR:	ING. ALEJANDRO FALLA FLORES
EXAMINADOR:	ING. OTTO GIRON
SECRETARIO:	ING. EDGAR BRAVATTI CASTRO

Guatemala
01 de octubre de 1996

Ingeniero
Luis Herrera
Coordinador del Area Electrotecnia
Escuela Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería
Universidad de San Carlos de Guatemala
Ciudad

Estimado ingeniero Herrera:

Me permito sugerir para su aprobación, el trabajo de tesis titulado: **Análisis de Tierras para la Industria**, desarrollado por el estudiante **César Humberto De León Montenegro**.

Por lo tanto, el autor de esta tesis y, yo, como su asesor, nos hacemos reponsables por el contenido y conclusiones de la misma.

Sin otro particular, me es grado suscribirme atentamente,


Ing. Mynor Rafael Celis González
Asesor

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

Guatemala, 14 de octubre de 1,996

Señor Director
Ing. Edgar F. Montúfar Urizar
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica
Facultad de Ingeniería, USAC.

Señor Director.

Me permito dar aprobación al trabajo de tesis: **Análisis de Tierras para la Industria**, desarrollado por el estudiante **César Humberto De León Montenegro**, ya que considero que cumple con los requisitos establecidos para tal fin.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. José Luis Herrera Gálvez
Coordinador Area de Electrotecnia

JLHG/sdem.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA

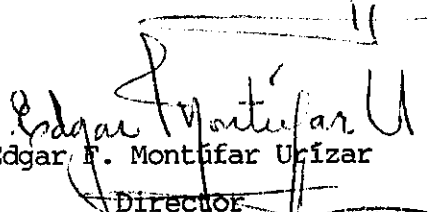


FACULTAD DE INGENIERIA

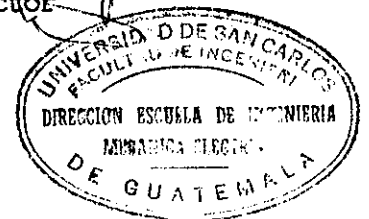
Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería Mecánica Industrial, Ingeniería Química, Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica y Regional de Post-grado de Ingeniería Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, después de conocer el dictamen del Asesor, con el Visto Bueno del Coordinador de Area, al trabajo de tesis del estudiante César Humberto De León Montenegro, titulada: **Análisis de tierras para la industria**, procede a la autorización del mismo.


Ing. Edgar F. Montifar Urizar

Director



Guatemala, 25 de octubre de 1,996.

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERIA

Escuelas de Ingeniería Civil, Ingeniería
Mecánica Industrial, Ingeniería Química,
Ingeniería Mecánica Eléctrica, Técnica
y Regional de Post-grado de Ingeniería
Sanitaria.

Ciudad Universitaria, zona 12
Guatemala, Centroamérica

El Decano de la Facultad de Ingeniería, luego de conocer la autorización por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, al trabajo de tesis: **Análisis de tierras para la industria**, del estudiante **César Humberto De León Montenegro**, procede a la autorización para la impresión de la misma.

IMPRIMASE:

Ing. Julio Ismael González Podszueck

Decano

Guatemala, 28 de octubre de 1,996.



AGRADECIMIENTO

A:

- DIOS** Por haber dado en mí fe y confianza para alcanzar una realización más en mi vida.
- MI MADRE:** **María Teresa Montenegro de De León**
Por todo su amor, dedicación y bendiciones.
- MI PADRE:** **Cesar Augusto De León Nájera**
Por su amor y en recompensa a sus esfuerzos.
- MI ESPOSA:** **Claudia María de De León**
Por todo el amor y apoyo brindado.

- LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS**

ACTO QUE DEDICO

- MI HIJA:** **María Alejandra De León**
Todo mi amor y esfuerzo
- MIS HERMANOS:** **Jackeline, Erick y Carlos**
Por el cariño que siempre me han brindado
- MIS ABUELITAS:** **Edelmira Nájera -Q.E.P.D.-**
Emilia Montenegro
Con mucho amor
- MI PRIMA:** **Thelma Córdova**
Con especial cariño
- MIS SUEGROS:** **Ramón De León**
Alma Violeta de De León
Por el apoyo y cariño que siempre me brindan
- MI FAMILIA:** Con mucho cariño
- MIS AMIGOS:** Con mucho aprecio

INDICE

SELECCIÓN DE SISTEMAS DE TIERRAS PARA LA INDUSTRIA

	Página
Lista de abreviaturas y símbolos	I
Glosario	II
Introducción	III

Capítulo 1 - Sistemas Aterrizados

1.1	Introducción	10
1.2	Definiciones	11
	1.2.1 Contactos directos	11
	1.2.2 Contactos indirectos	21
1.3	Selección de sistemas de tierras	4
	1.3.1 Sistemas de tierra de protección	4
	1.3.2 Sistemas de tierra de funcionamiento	4
	1.3.3 Sistemas de tierra de trabajo	4
1.4	Diseño de tierras	4
	1.4.1 Constitución	4
	1.4.2 Características	5
	1.4.3 Dimensionado	6
	1.4.4 Resistencia de tierra	7
	1.4.5 Impedancia de onda	9
	1.4.6 Instalación de dispersores en el terreno	9

Capítulo 2 - Selección de equipo para instalación de tierras

2.1	Elementos utilizados	14
	2.1.1 Tomacorriente polarizado	14
	2.1.2 Adaptador 3 a 2	14
	2.1.3 Interruptor de circuito de falla de aterrizaje	15
	2.1.4 Líneas de puesta a tierra en instalaciones hasta 1000v	16
	2.1.5 Resistencia específica del suelo Q_E y resistencia de propagación	18
	2.1.6 Tomas de tierra	19
	2.1.7 Tipos de tomas de tierra	20

2.2	Aparato para la medición de tierra	27
2.3	Aplicación industrial en sistema de motores y una red de datos	29
2.3.1	Sistema de tierra en motores eléctricos	29
2.3.2	Equipo de computadora conectado a tierra	30
Capítulo 3 - Tierra contra descargas estáticas		
3.1	Concepto	34
3.2	Métodos para la prueba de estática	34
3.3	Condiciones que propician la producción de cargas estáticas	37
3.3.1	Presencia de voltaje	38
3.3.2	Las condiciones requeridas para una carga estática sea causa de ignición	40
3.4	Generación de estática	40
3.5	Tierras para la protección de estática	41
3.5.1	Métodos de control de estática y conexión a tierra	41
3.6	Recomendaciones para varios tipos de industria	44
3.6.1	La industria de grano y harina	44
3.6.2	La industria de gas	44
3.6.3	La industria de pintura	44
3.6.4	La industria de impresión y papel	45
3.6.5	La industria de hule	45
3.6.6	La industria textil	45
Capítulo 4 - Conexiones a tierra		
4.1	Comparación de harness aterrizado según normas DIN y ANSI	46
4.2	Sistema de circuito neutral	48
4.3	Conexión de resistencia	48
4.4	Conexión de reactancia	49
4.5	Solidamente aterrizados	49

4.6	Análisis de conexión de tierra en la protección	52
4.6.1	Protección contra contactos a masa mediante transformador de aislamiento	52
4.6.2	Protección por neutralización	52
4.6.3	Protección mediante relé de tensión	54
4.6.4	Protección mediante relé diferencial de intensidad	54
	Conclusiones	57
	Recomendaciones	58
	Bibliografía	59

LISTA DE ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS

I_d	=	Corriente que circula a través del cuerpo humano
OmA	=	Miliamperios
v	=	Voltios
R,S,T,	=	Fases
R_o	=	Resistencia eléctrica de paso
R_l	=	Resistencia eléctrica de línea
M	=	Motor
R_c	=	Resistencia eléctrica de contacto
R_h	=	Resistencia eléctrica de operador
R_p	=	Resistencia de paso de la persona a tierra
R	=	Resistencia
I	=	Corriente
E	=	Gradiente de la tierra volts/m
r	=	Radio
p	=	Resistividad
L	=	Longitud
X	=	Reactancia
KV	=	Tensión concatenada de la red
D	=	Valor en m de la diagonal de la superficie interesada de la malla
G_p	=	Gradiente en la superficie
V_p	=	Tensión de paso
V_c	=	Tensión de contacto
R_t	=	Resistencia de puesta a tierra
ANSI	=	Instituto Nacional Americano de Standards
NEC	=	Código Eléctrico Nacional de los Estados Unidos
DIN	=	Normas Electrotécnicas Alemanas

II

GLOSARIO

Dispersor	=	Tipo de toma de tierra
Picas	=	Barra de hierro galvanizado o cobre punteagudo
Bucle	=	Hierro en forma de óvalo
Colectores	=	Recolectan las corrientes que circulan por las tierras
Harness	=	Estructura que forma la unión de todas las tierras de un sistema
Estática	=	Acumulación de electricidad sobre equipo o material

III

INTRODUCCION

El aterrizaje de equipo es un tema muy importante en la industria de hoy, en un mundo cambiante donde la modernización es una actualidad. La mayoría de fábricas desean evitar ocasionar daños, accidentes y, más aún, poner en peligro la vida de su personal y contar con un equipo o comité que proporcione una Seguridad Industrial, el cual está consciente que el aterrizaje de equipo puede evitar accidentes. Esto significa que es importante crear un sistema aterrizado con las normas adecuadas y bien diseñado para proporcionar un ambiente más seguro, tanto para el personal como para la maquinaria.

El tema del siguiente trabajo de tesis está enfocado como una herramienta de consulta para ser aplicado en el campo industrial. Por lo que, el mismo se ha enfocado desde el punto de vista de diseño, protección y práctica para que pueda utilizarse a fin de lograr un sistema de tomas de tierra eficiente y lograr efectividad industrial.

La electricidad estática es parte del análisis del siguiente trabajo, ya que, se encuentra ligado a lo que se refiere al aterrizaje de equipo para alcanzar un control estricto que evite o sea causa de incendios, problemas de descargas, fallas eléctricas, etc. Asimismo, se presentan algunos métodos que, se consideran de mucha utilidad para que logren detectar con anticipación dichos peligros y controlarlos.

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
Biblioteca Central

CAPITULO No. 1 - SISTEMAS ATERRIZADOS

1.1 ADVERTENCIA

La industria, actualmente debe tomar ciertas medidas de seguridad, sobre todo, cuando se trabaja en sistemas eléctricos.

Debido a eso, se enfocará el siguiente capítulo para dar a conocer más acerca de varios tipos de contacto humano con la electricidad, los cuales pueden ser: contactos directos e indirectos, definiciones que se exponen a continuación.

Es necesario conocer que con una corriente de 20 mA que atravesase el cuerpo humano puede llegar a tener consecuencias de gravedad. Asimismo, con un mínimo de 65 voltios ya es perceptible sentir un ligero cosquilleo en el punto de contacto, ya no se diga con 110 ó 220 voltios.

Por otro lado, se incluye el tema sobre selección de sistemas de tierra, mencionando tres tipos diferentes, por lo que es necesario identificarlas, para aplicarlas en la industria.

Así como el diseño de las mismas es importante saber su aplicación y el mejor funcionamiento de las mismas.

1.2 DEFINICIONES

Definiciones de contactos a las que un ser humano puede estar expuesto en la industria.

1.2.1 CONTACTOS DIRECTOS

Esto suele suceder cuando se trabaja en una instalación que está energizada y el electricista que está trabajando toca con una mano una línea activa y tierra. La persona estará sometida a una tensión existente entre una fase más y tierra, y, existirá una corriente (I_d) que atravesará el cuerpo humano con riesgos de paro cardíaco.

PROTECCIÓN CONTRA LOS CONTACTOS DIRECTOS

Los trabajadores deben estar protegidos contra los contactos con las piezas que habitualmente se encuentran bajo tensión, haciendo inaccesibles a éstas. Debe resultar imposible a un individuo que no sea electricista responsable, llegar a tocar estas piezas bajo tensión; para ello, pueden adoptarse tres soluciones:

- a. es recomendable dejar fuera del alcance de los trabajadores todo lo que tenga relación con maquinaria que esté bajo tensión, para que no ocurra un accidente,
- b. otra opción será poner barandas, cubiertas o tapaderas aislantes, que restrinjan el paso, tomando en cuenta las medidas de seguridad como lo es su estabilidad, su solidez y su aislamiento, observando las diferentes formas a los que normalmente están sometidos,
- c. crear un aislamiento de las piezas bajo tensión y ese aislamiento debe tener, como mínimo, propiedades dieléctricas, mecánicas y térmicas mientras dura la instalación.

1.2.2 CONTACTOS INDIRECTOS

Debido a falta de supervisión, mantenimiento o descuido, desde un aparato electrodoméstico hasta maquinaria industrial, puede haber posibles contactos de una línea activa a la carcasa y cualquier persona está sujeta a correr el riesgo de recibir una descarga eléctrica sin estar prevenido o con equipo especial. También en este caso circulará corriente a través del cuerpo humano.

PROTECCIÓN CONTRA LOS CONTACTOS INDIRECTOS

Existe peligro cuando la tensión sobrepasa los 50 V y una corriente I pasa por el cuerpo humano, cuando:

- a. la masa no está puesta a tierra. El individuo es atravesado por la corriente,
- b. masas no equipotenciales. La persona está sometida a una tensión que puede ser próxima al valor de la tensión compuesta, cuando toca, simultáneamente, dos masas que están conectadas a fases diferentes (por ejemplo, fase R y fase T),
- c. una masa metálica (por ejemplo pasamuros) que un conductor haga contacto accidental con una tubería metálica que puede llevar el potencial peligroso.

Lo importante es evitar cada uno de estos peligros y, según experiencia en la industria, se puede sugerir algunas soluciones:

1. poner a tierra las masas,
2. enlaces equipotenciales,
3. doble aislamiento.

Los enlaces equipotenciales constituyen el medio más seguro para la protección de personas. Es recomendable también colocar disyuntores o fusibles para controlar la red.

RESISTENCIAS, TENSIONES Y CORRIENTES EN UN CONTACTO DIRECTO

En una red trifásica con el neutro puesto en tierra, ésta tiene una resistencia eléctrica de paso R_o . La red alimenta un motor eléctrico M , que hace contacto a masa, con una fase; en el contacto la resistencia eléctrica de la línea es R_L . Si en estas condiciones el operador toca la carcasa, una corriente eléctrica atravesará el cuerpo, un retorno por tierra, pero, el valor de la corriente depende de tres factores:

- a) resistencia eléctrica de contacto, R_c ,
- b) resistencia eléctrica del operador, R_h ,
- c) resistencia de paso de la persona a tierra, R_p .

Además, existe la resistencia de paso desde el lugar donde el neutro está puesto a tierra hasta el sitio donde se ha producido el contacto indirecto, R_t .

Si la tensión U_o entre la fase T y la tierra es de 220V, esta tensión cubrirá las caídas por las resistencias, la corriente eléctrica que atraviesa el operador es de:

$$I = \frac{U_o}{R_o + R_L + R_c + R_H + R_p + R_t}$$

La corriente que fluirá dependerá de la resistencia de paso. Si se trata de lugares secos de vivienda forrados de madera, la resistencia R_p tiene un valor muy elevado, por tanto, R_p es el denominador de la expresión I , será muy pequeño, a la inversa con suelos de piedra o cemento. El valor de R_p es pequeño, entonces, I es elevado.

La tensión a que estará expuesto el operador es igual a:

$$U_h = I R_h$$

1.3 SELECCIÓN DE SISTEMAS DE TIERRAS

Dependiendo su función, se clasifican de la siguiente manera:

1.3.1 SISTEMAS DE TIERRA DE PROTECCIÓN

Se utilizan para limitar el valor de la tensión contra tierra de aquellas partes del sistema eléctrico que no deben ser mantenidas ni en tensión ni aisladas y con las cuales se puede poner en contacto el personal (por ejemplo: carcasa de una máquina eléctrica, herrajes o fierros de sostén de los aisladores, secundario de los transformadores de medida, sostenes de la línea eléctrica, etc.).

1.3.2 SISTEMAS DE TIERRA DE FUNCIONAMIENTO

Sirven para poner a tierra, por necesidad de funcionamiento, determinados puntos del circuito eléctrico (neutro de generadores y transformadores, aparatos para la conexión de la tensión contra tierra, pararrayos, etc.).

1.3.3 SISTEMAS DE TIERRA DE TRABAJO

Son sistemas de tierra de protección provisionales y efectuados para poner a tierra en una instalación eléctrica, normalmente en tensión, a los cuales se debe llegar para efectuar un trabajo o reparación.

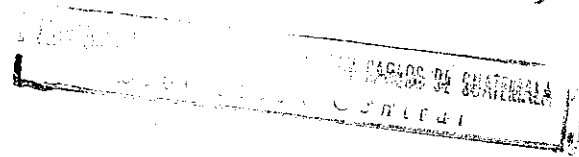
1.4 DISEÑO DE TIERRAS

En este punto, se considera que es importante tener conocimientos básicos acerca del diseño de tierras, por lo que se hace un análisis global de lo que debe tomar en cuenta un ingeniero electricista. (los siguientes conceptos fueron tomados del libro "Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión" de Gilberto Enríquez Harpes).

1.4.1 CONSTITUCIÓN

Los sistemas de tierra comprenden:

- I. el dispersor. Constituido por un cuerpo metálico o un conjunto de cuerpos metálicos puestos en contacto directo con la tierra y destinados a dispersar las corrientes de tierra,
- II. el conductor de tierra, el cual sirve para unir las partes de puesta a tierra con el dispersor,



- III. los colectores eventuales de tierra. Conjunto de colectores, en los cuales se hacen más dispersores y conductores de corriente las terminales de ellos.

1.4.2 CARACTERÍSTICAS

Las principales características útiles para los sistemas de dispersión pueden ser:

1. la corriente de tierra I , que corresponde al valor máximo que se provee de la corriente en amperes la cual debe ser dispersada en el sistema de tierra,
2. la tensión de tierra V , equivalente a la máxima diferencia de potencial, medida en volts, existente entre el sistema de dispersión y un punto en el infinito, cuando el sistema de tierra dispersa la corriente de tierra I prevista,
3. la resistencia de tierra R , cuyo valor en ohms se define por medio de la relación entre la tensión y la corriente de tierra o, sea, $R = \frac{V}{I}$
4. el gradiente de la tierra E , que indica en volts/m la diferencia de potencial entre dos puntos del terreno cuya distancia del dispersor varía en un metro,
5. la resistencia del terreno, que indica en 2 m el valor de la resistividad del terreno en el cual está incluido el sistema de dispersión.

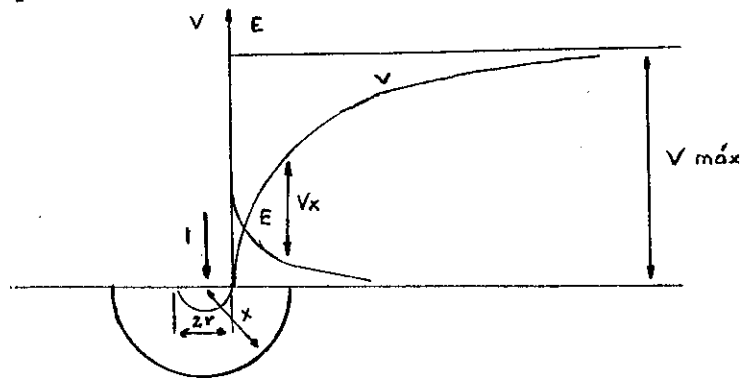


FIGURA No.1

Diagrama relativo a un dispersor de tierra semiesférico.

Para un dispersor de tierra semiesférico de radio r , la variación de la tensión y del gradiente de tierra, para un valor de la resistividad del terreno y de la corriente de la tierra I , en función de la distancia X del dispersor.

Los valores de estas magnitudes se pueden definir con las siguientes ecuaciones:

$$R = \frac{\rho}{2} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{x} \right) \quad (\text{resistencia})$$

$$V = \frac{\rho I}{2r} \left(1 - \frac{r}{x} \right) \quad \text{volts (tensión)}$$

$$E = \frac{\rho I}{2} \times \frac{1}{x^2} \quad \text{volts/m (gradiente)}$$

Los valores de las corrientes de tierra para sistemas trifásicos en neutro, con neutro aislado están dadas:

Para líneas aéreas	$I = 0.003 = 0.003 \text{ KVL}$
Para cables	$I = 0.01 \text{ VL}$

donde:

V = tensión concatenada de la red en KV

L = longitud en Km de todas las líneas de la misma tensión que están unidas metálicamente entre sí.

(En las redes grandes, por ejemplo, se registran valores que pueden alcanzar los 1,500 A.)

Para las redes que están funcionando con el centro de la estrella conectado directamente a tierra, los valores de la corriente de tierra quedan definidos por las características particulares del sistema; como orientación se puede decir que en los sistemas grandes a 150 KV se pueden alcanzar los valores de 1,500 A, a 200 KV de 5,000 A, y en sistemas de 750 KV hasta 20 KA.

1.4.3 DIMENSIONADO

Por lo que se refiere al dimensionado de los sistemas de tierra, con el fin de proteger debidamente al personal del peligro de la corriente eléctrica se consideran las siguientes características:

- A) la tensión de contacto,
- B) la tensión de paso.

Se define como tensión de contacto al valor de la tensión que se presenta al paso de la corriente a tierra, entre las masas metálicas conectadas a tierra y el terreno circunvecino que puede, eventualmente, en alguna forma, entrar en contacto con una persona.

La tensión de paso es la que se manifiesta al paso de la corriente de tierra, entre dos puntos del terreno distantes un paso entre sí (generalmente 1 m).

No existe en la actualidad una regla que normalice los valores de tensiones de contacto y de paso. Las normas en curso de elaboración toman en cuenta valores para el interior y exterior los cuales parecen aceptables en 125V, con la posibilidad de elevarlo a 250 V cuando se asegure una interrupción de la corriente de falla de 0.3 segundos.

El dimensionado del sistema de dispersión debe resolverse teniendo en cuenta las siguientes exigencias que se deben satisfacer.

1.4.4 RESISTENCIA DE TIERRA

Se tiene conocimiento que el valor debe ser el más bajo posible, depende de la resistividad del terreno en el cual está enterrado el sistema de dispersión; también de sus características particulares (forma geométrica, extensión, tipo de dispersor usado, etc.).

La resistividad del terreno está en función directa de los sistemas de dispersión de tierra, está representada, aproximadamente, en la siguiente tabla.

Tipo de tierra	ohms/m
Arcilla, marga, fósil, mantillo húmedo	10
Arcilla, marga, fósil, mantillo seco	10 ²
Arena húmeda	10 ²
Arena fina y yeso seco	10 ³
Basaltos	10 ⁴
Roca compacta	10 ⁵

La resistencia de los dispersores tubulares enterrados, verticalmente, cuando están suficientemente distantes entre sí (interesa la distancia entre ellos) es, aproximadamente, igual a la relación entre la resistencia unitaria del terreno (resistividad) y la longitud en m, como resulta del

$$R = \frac{\rho}{L}$$

diagrama de R.W., figura No. 2, donde se indica la influencia de los dispersores verticales sobre el valor de la resistencia obtenida en conjunto total.

Para los dispersores constituidos por conductores enterrados, horizontalmente, a 1 m de profundidad, la resistencia es dada aproximada por la relación entre el doble de la resistividad del terreno y su longitud.

Para un dispersor de tierra formado por una malla enterrada, que puede ser asimilada con un cierto acercamiento a una placa plana, la resistencia de tierra total en p , R está expresada, aproximadamente, por la ecuación: donde

$$R = \frac{2p}{p}$$

$$p = \text{resistividad del terreno en } \Omega.m.$$

$$p = \text{longitud del perímetro de la malla en m.}$$

Además, se debe tener presente que al aumentar la profundidad de los dispersores disminuyen los valores de los gradientes en la superficie y también las tensiones de paso; en cambio, aumenta la tensión de contacto entre dispersores (o partes metálicas unidas a ellos) y el terreno circunvecino.

Con el fin de reducir la resistencia óhmica de los sistemas de dispersión de tierra, se deberán unir, cuando sea posible, todos los sistemas de dispersión de tierra de protección existentes; de esta manera se reduce la resistencia global.

Al realizar los sistemas de dispersión de tierra se acostumbra unir entre ellos la tierra de funcionamiento y de protección de las instalaciones. También unir los cables de guarda de las líneas que llegan a las estaciones, así como el neutro de los transformadores de muy alta tensión.

Se deben tomar medidas especiales para el sistema de dispersión de los pararrayos, los cuales, por su misma característica de funcionamiento con corrientes de crestas escarpadas, exigen que su conexión a tierra sea lo más breve posible y sin curva brusca, con el objeto de presentar la mínima impedancia y facilitar así la descarga de corriente de alta frecuencia.

Para la conexión del pararrayos al dispersor, debe evitarse absolutamente, el paso del conductor en tubo de protección de fierro, ya que esto aumenta notablemente la impedancia del circuito.

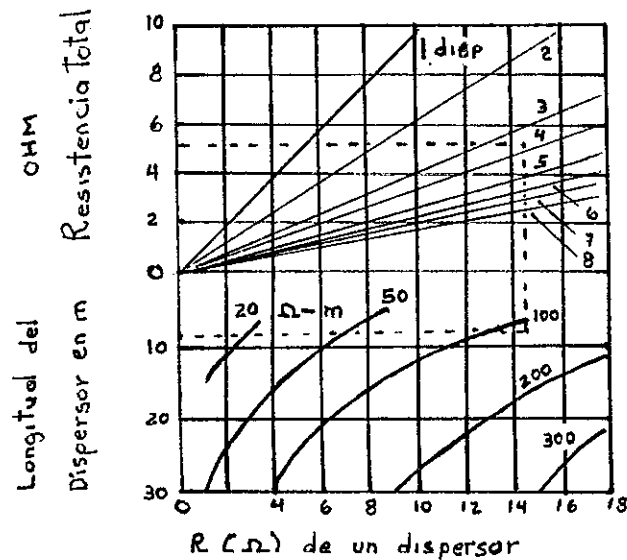


FIGURA No.2

En la figura 2 está indicada la variación de la resistencia total de un grupo de dispersores en función de su número y de la superficie sobre la cual están distribuidos y para un determinado valor de la resistividad del terreno.

1.4.5 IMPEDANCIA DE ONDA

Los sistemas de dispersión pueden ser destinados a difundir en el terreno también descargas a frecuencia elevada. Entonces, deberán ser aptos para dispersar, asimismo, corrientes de alta frecuencia y con frente escarpada. Para estas corrientes tiene influencia la impedancia de onda del sistema de conductores de conexión a los dispersores, que deberá ser lo más baja posible (conexiones cortas sin curvas bruscas, evitando la disposición de espira).

1.4.6 INSTALACIÓN DE LOS DISPERSORES EN EL TERRENO

Para cumplir con el requisito de tener una baja densidad específica de corriente en la superficie del dispersor, se necesitará lograr un buen contacto de la superficie metálica con el terreno circunvecino, empleando tierra vegetal u otras substancia.

La densidad de la corriente admisible en la superficie de un dispersor en función de la resistividad del terreno y del tiempo.

Estas condiciones se pueden obtener fácilmente con la colocación de una malla de conductores, de lado variable entre los 5 y los 20 m, a una profundidad entre 0.5 m y 1 m, a modo de obtener una superficie equipotencial. Cuando esto no se pueda realizar, la zona en la cual estén distribuidos los dispersores deberá ser inaccesible al personal.

En el caso de una malla enterrada a la profundidad de, aproximadamente, 1 m, en un terreno de resistividad superficial y para un valor I de la corriente dispersa por cada metro de conductor enterrado (relación entre la corriente de tierra total I y la longitud total del conductor L que constituye la malla), las tensiones de contacto V_c y de paso V_p asumen, prácticamente, estos valores medios aproximados:

$$V_c = 0.7 \rho I \text{ volts} \dots\dots\dots (1)$$

$$V_p = 0.16 \frac{\rho I}{h} \text{ volts} \dots\dots\dots (2)$$

Debe tenerse presente que la corriente I dispersa por medio del conductor no es uniforme para toda la malla; ella aumenta, llegando a valores 2 ó 3 veces superiores, apartándose del centro contra la periferia ($V_c = 0.4$ a $1.5 I$) y aumentando entonces las tensiones de paso y de contacto.

Estos anillos externos deberán estar privados de apéndices o de vértices en ángulo recto o agudo, que aumentan notablemente el valor del gradiente de tensión en la superficie.

El gradiente en la superficie y en la periferia de la malla está dado, aproximadamente, por la ecuación:

$$G_p = \frac{4I\rho}{D^2} \text{ volt/m} \dots\dots\dots (3)$$

donde:

D = valor en m de la diagonal de la superficie interesada de la malla.

Además se necesita evitar, en cuanto sea posible, que haya correspondencia de la superficie de contacto entre dispersor y terreno y se puedan verificar gradientes de tensión superiores al valor de 3 KV/cm, que alteren las características del terreno en que están enterrados, aumentando la resistividad.

MATERIALES

Características de los materiales que se emplean en la construcción de los sistemas de dispersión y forma de ejecutar las conexiones.

Para instalaciones particulares, es conveniente emplear en la construcción de los dispersores, metales resistentes a la corrosión, se recomienda el cobre, o metales ferrosos protegidos con un baño de zinc.

Los perfiles, las varillas y los conductores que se usen como dispersores deben tener un diámetro no inferior a 8 mm. Los platillos y las planchas, un espesor no menor de 3 mm; los tubos un diámetro exterior de cuando menos 40 mm (25 mm para las tierras de las descargas) y un espesor no inferior a 2.5 mm; los perfiles, un espesor no menor de 5 mm y las otras dimensiones transversales como mínimo 50 mm (respectivamente 4 mm y 35 mm para las tierras de las descargas). El diámetro de los hilos elementales de los conductores no debe ser inferior a 1.8 mm; el diámetro de los hilos correspondientes de la red debe ser de 3 mm o más.

En caso de que se utilicen materiales ferrosos no protegidos con zinc, los espesores mínimos arriba indicados deberán ser aumentados en un 50%. Las uniones entre un dispersor y el conductor de tierra deben ser suficientemente robustas y fuertes para soportar las fuerzas mecánicas debidas a movimientos eventuales o asentamiento del terreno. Se harán con soldadura resistente o con dispositivos vigorosos (abrazados) con superficies de contacto de cuando menos 200 mm² o por contacto entre superficies igual también a, cuando menos, 200 mm², separados por medio de tornillos con diámetro menor de 10 mm, cerrados a fuerza o, si se trata de tubos, mediante mangos con tornillos.

Para las uniones de dispersores a las partes de líneas eléctricas hay que usar un solo tornillo de un diámetro mínimo de 16 mm.

De cualquier modo, se debe poner mucha atención en los puntos de unión entre conductores y dispersores, para evitar la posibilidad de alteraciones de los materiales por la presencia de corrientes electrofónicas.

Las conexiones de norma deberán ser accesibles y abiertas, de modo que se pueda controlar la resistencia de los dispersores separados del resto del sistema.

Ejemplo de un sistema de tierras:

se tienen dos generadores con capacidad de 60 MVA y 10 KV cada uno, en conexión en bloque. Los transformadores son de 63 MVA-10/220 KV cada uno, conexión delta-estrella, con la estrella conectada a tierra. La corriente máxima a tierra es de 4,000 amperes.

La resistividad del suelo es = 350 ohm/m; se requiere que la tensión de paso y la tensión de contacto no supera los 125 volts.

El perímetro de la instalación es un rectángulo de 90 x 210 m.

Solución:

$$P = (2 \times A + 2 \times L) = (2 \times 90 + 2 \times 210) \\ = 600 \text{ m.}$$

Para la malla un 55% de la corriente total de dispersión

Un 45% de esta corriente total de dispersión para el electrodo que está en posición vertical, se tiene:

$$\text{corriente de dispersión para la malla} = 0.55 \times 4,000 = 2,200 \text{ A.}$$

$$\text{corriente de dispersión para el electrodo} = 0.45 \times 4,000 = 1,800 \text{ A.}$$

Cálculo de la longitud del cable conductor que constituye la malla:

Se parte de la ecuación

$$V_c = \frac{0.7 \rho I}{L}$$

$$L = \frac{0.7 \rho I}{V_c} \text{ donde } V_c = 125 \text{ volts}$$

I = corriente de dispersión

$$L = \frac{0.7 \times 350 \times 2,200}{125}$$

$$L = 4,300 \text{ m.}$$

Si se considera que la profundidad del conductor es de 0.50 m, la tensión de paso es:

$$V_p = \frac{0.16 \rho I}{hL}$$

$$V_p = \frac{0.16 \times 350 \times 2,200}{0.50 \times 4300} = 60 \text{ volts}$$

Como se ve, este resultado es inferior a 125 volts de tensión de paso, considerada como condición del problema.

Cálculo de la resistencia de la malla:

$$R = \frac{2\rho}{\text{Per}} = \frac{2 \times 350}{600} = 1.2 \text{ ohms}$$

Los electrodos se entierran en toda la periferia de la malla y deben disipar un 45% de la corriente total a tierra; tienen una resistencia aproximada de

$$R_{\text{malla}} \times \frac{\% I_{\text{malla}}}{\% I_{\text{elec}}} = R_{\text{electrodo}}$$

que se puede lograr empleando de 15 a 16 electrodos tubulares de 13 a 15 cm, en forma vertical.

Para reducir el gradiente de tensión en la superficie, el electrodo para esta porción tendrá una profundidad de, aproximadamente, 2 m y estará unido a toda la malla con la terminal del conductor desnudo y conectado debajo de la porción aislada. Por tanto, el gradiente de tensión para toda la periferia es de:

$$G_p = \frac{4\rho I}{D^2} = \frac{4 \times 350 \times 4,000}{52,200}$$

$$G_p = 110 \text{ volt/m}$$

Donde D es la diagonal de la superficie interesada.

$$D^2 = 90^2 + 210^2$$

$$= 52,200$$

Se sabe que:

$$R_t = \frac{S}{t \text{ largo barrilla}} = \frac{350 \text{ .m}}{2.43} = 144$$

Para disminuirla se necesita conocer cuántos electrodos son en total para llegar a una $R_{\text{elec}} = 1.5$

Si:

$$R_t = n R_{\text{elect}}$$

$$144 = n 1.5$$

$$n = \frac{144}{1.5} = 96 \text{ barrillas}$$

El tipo de toma de tierra dependerá de la resistividad del terreno, es importante tomarlo en consideración, para utilizar la más adecuada.

CAPITULO No.2 - SELECCIÓN DE EQUIPO

2.1 ELEMENTOS UTILIZADOS

Se han tomado a criterio los elementos para una tierra desde lo más simple como lo es el tomacorriente polarizado hasta las diferentes estructuras que forman una tierra sólida.

2.1.1 TOMACORRIENTE POLARIZADO

La mayoría de personas están acostumbradas al tomacorriente común con 2 orificios para conectar una espiga, pero, para una protección tanto en el hogar como en cualquier parte es recomendable un toma-polarizado.

No es más que un tomacorriente común pero con un agujero más en forma de U, en uso, de la tercera lengüeta de la espiga se conecta a un alambre de aterrizaje separado en el cordón y conectado al marco de un motor o aparato. El alambre de aterrizaje en el cordón es normalmente de color verde (con o sin una o más rayas amarillas). Sobre el tomacorriente, las aberturas redondas o en forma de U conducen a un tornillo terminal verde especial que se conecta a la abrazadera o a la banda de montaje del tomacorriente. A su vez, cuando se instala un tomacorriente, se debe conectar esta terminal verde a la tierra o aterrizaje. Si se usa un ducto o cable acorazado, el ducto o armazón metálico viene a ser el conductor de aterrizaje. El cable sin armazón contendrá un alambre adicional, desnudo, además de los conductores aislados y este se debe aterrizar en las cajas. De esta manera, el marco del motor o aparato está efectivamente aterrizado, proporcionando seguridad adicional.

2.1.2 ADAPTADORES DE TRES A DOS

Este dispositivo es utilizado cuando por un motivo la espiga tiene una tercera clavija y el tomacorriente no es polarizado. Lo mejor sería reemplazar los viejos tomacorrientes por unos nuevos de aterrizaje, así los puede aterrizar correctamente.

Nótese que el adaptador tiene una oreja de aterrizaje verde. Quítese el tornillo que detiene la placa frontal al tomacorriente, pero, no quite la placa. Conéctese el adaptador en el tomacorriente con la oreja de aterrizaje hacia el centro de la placa. Vuélvase a instalar el tornillo que detiene la placa frontal, a través del agujero en la oreja de aterrizaje. Entonces, puede conectar espigas de 2 ó 3 lengüetas en el adaptador.

2.1.3 INTERRUPTORES DE CIRCUITO DE FALLA DE ATERRIZAJE

A manera de protección es importante recomendar un Interruptor de Circuito de Falla de Aterrizaje (abreviado GFCI, del inglés Ground-Fault-Circuit- Interrupters) si existiera un contacto a tierra por algún descuido o una mala maniobra de un contacto de alguna línea viva a tierra detectará la diferencia en la corriente de los dos alambres. Si la corriente de falla excede el nivel de disparo de GFCI, que se encuentra entre 4 y 6 mA, este desconectará el circuito en tan poco tiempo como 1/40s.

La corriente de la falla es demasiado baja para disparar un disyuntor o fundir un fusible, podría fluir por una persona en contacto con el equipo defectuoso y una superficie aterrizada. El uso de un GFCI es una de las medidas más deseable de seguridad especialmente cuando se usa en maquinaria, equipo eléctrico a la intemperie, ya que al tener que pararse en el suelo (especialmente mojado) aumenta mucho la probabilidad de una descarga eléctrica.

Este dispositivo, al adquirirlo, se debe tener en cuenta su capacidad en amperes y en volts para concordar con la capacidad de la toma o circuito que se desea proteger.

El GFCI no impedirá que una persona que forma parte del corto circuito reciba una descarga, pero abrirá el circuito tan rápidamente que la descarga no afectará al individuo.

Existen tres tipos de GFCI

El primero o tipo encerrado independiente existe para circuitos de 120 V de 2 alambres y para circuitos de 120/240 V de 3 alambres hasta 30 A. Es recomendable en el alambrado de albercas y se instala en cualquier punto conveniente del circuito.

El segundo tipo combina un disyuntor de 15-20-, 25- o 30-A y un GFCI en la misma caja y se instala en lugar de un disyuntor ordinario en su tablero; existen tipos de 120 V de 2 alambres o de 120/240 V de 3 alambres (que también se puede usar para proteger un circuito de 240V de 2 alambres). Proporciona una protección contra las fallas de aterrizaje y sobrecargas para todas las tomas sobre el circuito. Cada interruptor GFCI tiene una cola de cochino blanca que se debe conectar a la barra conductora aterrizada (neutral) de su tablero. También debe conectar el alambre blanco (aterizado) del circuito a una terminal destinada a esto en el disyuntor. Un disyuntor GFCI de conectar se muestra en la Fig. 3.

El tercer tipo, un tomacorriente y un GFCI en la misma caja proporcionan sólo una protección de falla de aterrizaje al equipo conectado en este tomacorriente o, si es del tipo "de alimentación total", al equipo conectado en otros tomacorrientes ordinarios instalados "corriente abajo" en el mismo circuito.

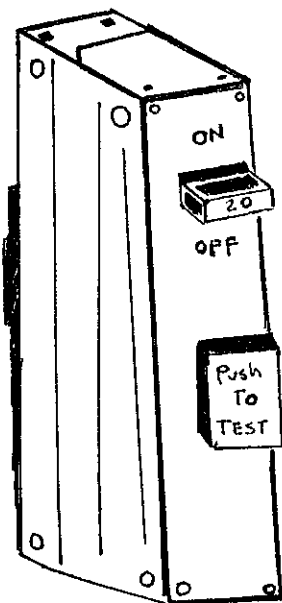


FIGURA No.3

En esta figura se muestra un interruptor de falla de aterrizaje.

2.1.4 LÍNEAS DE PUESTA A TIERRA EN INSTALACIONES CON TENSIONES NOMINALES DE HASTA 1000 V

A continuación se muestra una tabla donde están indicadas las secciones de cable de puesta a tierra dependiendo de la sección del conductor activo.

TABLA 1. RELACIÓN ENTRE EL CONDUCTOR DE PUESTA A TIERRA Y EL CONDUCTOR ACTIVO

Secciones nominales		
Conductores activos mm ²	Línea de puesta a tierra	
	Protegida Cu/Al mm ²	No protegida Cu mm ²
1.5	2,5/4	4
2.5	2,5/4	4
4	4	4
6	6	6
10	10	10
16	16	16
25	16	16
35	16	16
50	25	25
70	35	35
95	50	50
120	50	50
150	50	50
185	50	50
240	50	50
300	50	50
400	50	50

TABLA 2. SECCIONES MÍNIMAS DE LÍNEAS DE PUESTA A TIERRA TENDIDAS EN TIERRA

En esta tabla se muestra el tipo de conductor que se debe utilizar cuando va tendido sobre la tierra, indicando el tipo de material y sección.

Tendido	Con protección mecánica	Sin protección mecánica
Aislado	Al, Cu, Fe	Al inadmisible Cu 16 mm ² Fe 16 mm ²
Desnudo	Al inadmisible Cu 25 mm ² Fe 50 mm ² , cincado al fuego	

Una norma que es utilizada y se recomienda en Guatemala es que las líneas de puesta a tierra deben identificarse con franjas verdes y amarillas. En cada instalación debe preverse una barra de puesta a tierra principal o una barra de compensación de potencial. A ellas deberán conectarse los siguientes conductores:

- líneas de puesta a tierra,
- conductores de protección,
- conductores de compensación de potencial principal.

2.1.5 RESISTENCIA ESPECÍFICA DEL SUELO Q_E Y RESISTENCIA DE PROPAGACIÓN

La resistencia específica de la tierra Q_E es muy variable dependiendo del tipo, granulación, presión y humedad del suelo. La tabla No. 3 muestra resistencias específicas de tierra, frecuentes. También, tomar en cuenta que en función de la profundidad pueden resultar oscilaciones periódicas por la modificación del grado de humedad en el mismo.

TABLA No.3

Tipo de suelo	Resistencia especifica de la tierra Q_E m
Terreno pantanoso	5 a 40
Barro, arcilla, humus	20 a 200
Arena	200 a 2500
Gravilla	2200 a 3000
Roca	
Roca erosionada	casi siempre inferior a 1000
Granito, grauvaca	2000 a 3000

2.1.6 TOMAS DE TIERRA

Las tomas de tierra se deberán elegir según sean las características del suelo y la resistencia de propagación. Deben estar en perfecta unión con el terreno circundante, debiéndose dar preferencia a capas del terreno de buena conductividad. Los terrenos secos deberán humedecerse.

Existen cuatro tipos de tomas de tierra, siendo:

- toma de tierra superficial,
- toma de tierra en profundidad,
- toma de tierra de cimentación,
- toma de tierra natural.

Las líneas de acometida que se tiendan desnudas en tierra formarán parte de la toma de tierra. Puede utilizarse redes de tuberías de agua como tomas de tierra y si se requieren pequeñas resistencias de propagación, se pueden combinar de tipos distintos, por ejemplo, varias tomas de tierra en profundidad, conectadas a tomas de tierra, superficiales.

2.1.7 TIPOS DE TOMAS DE TIERRA

Las tomas de tierra superficiales se realizan a partir de banda, barras o cable y pueden ejecutarse en diferentes formas y para diferentes aplicaciones, las cuales se analizaran a continuación:

- a. toma de tierra en estrella o radial.

Se constituye de 6 ramificaciones y se toman ángulos que no deben ser menores de 60 grados, según Figura No.4.

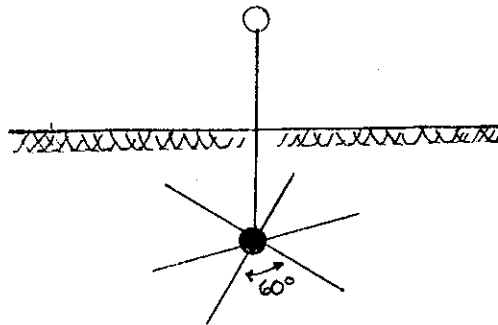


FIGURA No.4
Estructura de toma de tierra en estrella

- b. toma de tierra anular o estrellada en bucle:

Esta no es mas que la unión de las ramificaciones de un tipo de toma radial, como se puede observar en la Figura No.5.

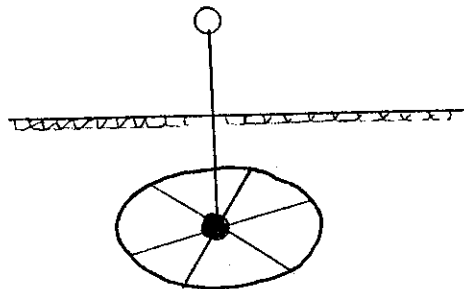


FIGURA No.5
Toma de tierra anular

c. toma de tierra enmallada.

Dicha toma de tierra es un enmallado metálico de forma rectangular. Ver Figura No.6.

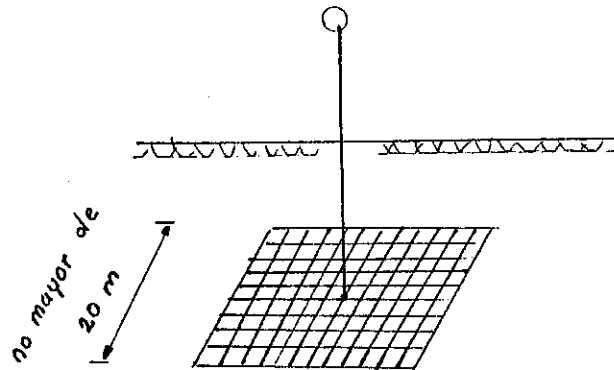


FIGURA No.6
Toma de tierra en forma de malla

d. tomas de tierra en forma de placa.

Suponiendo que la placa está colocada sobre el suelo; este es el caso de las bases metálicas de máquinas, planchas colocadas en el suelo, etc.. Si se quiere averiguar la resistencia de puesta a tierra es importante tomar en cuenta el diámetro y la resistividad del suelo, como se indica en la siguiente ecuación:

$$R_r = \frac{\rho}{2d} \text{ ohmios}$$

Si estas placas fueran enterradas (no influye si se colocan horizontal o verticalmente) siempre que la profundidad sea elevada respecto del diámetro de la placa se puede utilizar la siguiente ecuación para averiguar la resistencia de la toma de tierra:

$$R_r = \frac{\rho}{4d} \text{ ohmios}$$

Si la placa es rectangular o cuadrada, la ecuación anterior se sustituye por la siguiente:

$$R_r = \frac{\rho}{4,5 V ab} \text{ ohmios}$$

siendo a y b las longitudes de los lados de la placa.

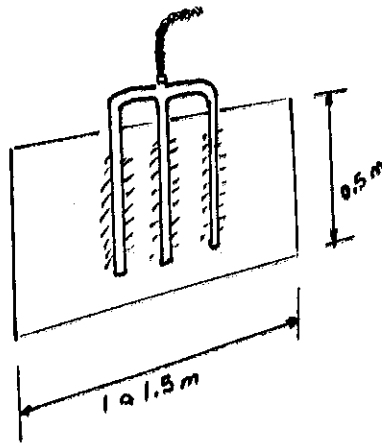
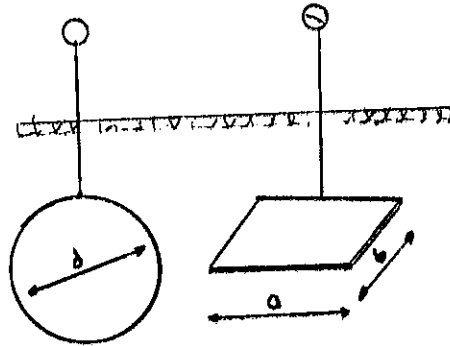


FIGURA No.7

Las placas empleadas como tomas de tierra son de palastro galvanizado, con un espesor mínimo de 3mm y con dimensiones expresadas. Se introducen en el terreno a profundidades de 2 a 3 m.

e. tomas de tierra en forma de picas.

Este tipo es el más común y consiste en clavar, verticalmente, en el terreno, tubos de hierro galvanizado o cobre. Para una profundidad t la resistencia de toma de tierra es expresada en la siguiente ecuación:

$$R_r = \frac{p}{t} \quad \text{ohmios}$$

Si en caso no se consigue la resistencia deseada se pueden clavar otras picas y tomando en cuenta que la distancia entre ellas debe ser la profundidad a que están las mismas. De lo contrario, la instalación de las tomas de tierra resultaría contraproducente porque el embudo de tensión obtenido sería peligroso.

Generalmente, las tomas de tierra de pica son de acero galvanizado, en forma de tubo de 1", perfil laminado en ángulo de 36 x 65 x 7, etc.. Con menos frecuencia, se emplea varilla redonda de acero cobreado de 15 mm de diámetro, con recubrimiento de cobre de 2,5 mm de espesor o, también, tubo de cobre de 30 x 3 mm.

Se recomienda hacerle una pequeña cajita para proteger la toma de tierra y poderla revisar, periódicamente, tal como se expresa en la figura 8.

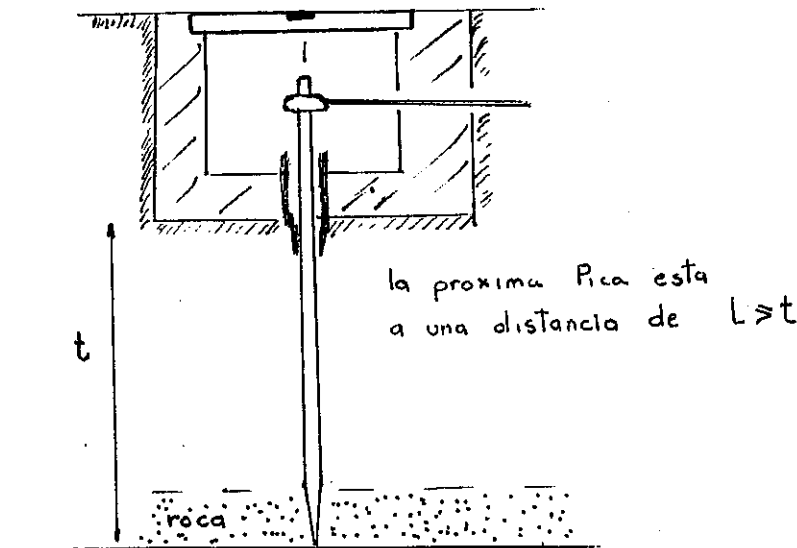


FIGURA No.8

Toma de tierra en forma de pica con caja de inspección

f. tomas de tierra de pletina - tomas de tierra en forma de bucle.

En el caso de tomas de tierra de pletinas, éstas se colocan en el suelo, a poca profundidad y, horizontalmente se extienden en una gran superficie y son utilizadas en instalaciones a la intemperie y, también, en aquellos casos en que no puede utilizar otro tipo de tomas de tierra (por ejemplo en terrenos rocosos).

Si l es la longitud de la toma de tierra, su resistencia eléctrica será:

$$R_r = \frac{2 \rho}{l} \quad \text{ohmios}$$

Se pueden utilizar para las tomas de tierra, conductores en forma de tubo o en forma de pletina, ya que la forma de estas tomas de tierra no influyen en el valor de la resistencia.

En las tomas de tierra en forma de bucle, el conductor que constituye la toma de tierra se cierra sobre sí mismo para formar un bucle (rectangular, circular, etc..), la resistencia aumenta. Sin embargo, en la práctica se puede tomar muy, aproximadamente, la fórmula que expresa la resistencia de la toma de tierra en forma de pletina. Ver figura 9.

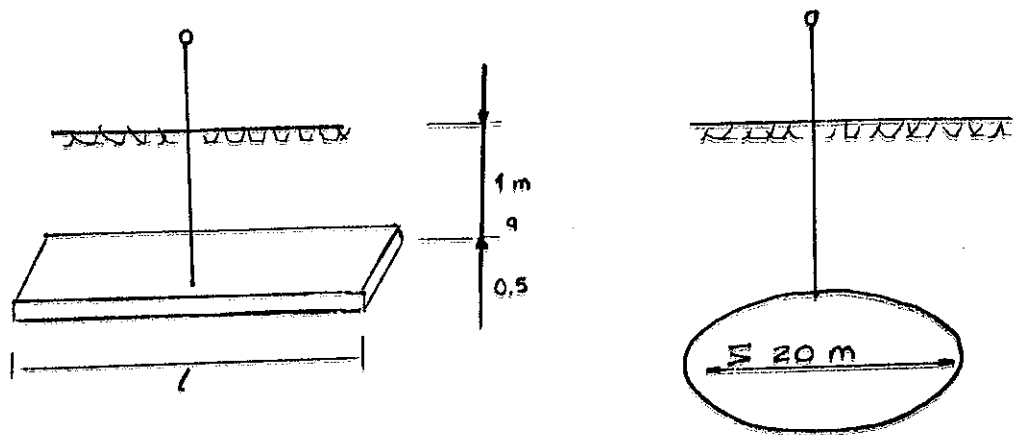


FIGURA No.9

Tomas de tierra de pletina y bucle acotado con sus dimensiones

g. abrazaderas o terminales de conexión para puestas a tierra.

Estos dispositivos facilitan la instalación de los conductores de protección, las líneas de enlace con tierra y la conexión de las picas.

En la figura 10 puede apreciar 5 modelos distintos de grapas de conexión para puestas a tierra. Se construyen de latón estampado y diseñadas para permitir la conexión vertical del cable a la pica (1), la conexión horizontal y de paso (2 y 3) para enlace entre varias picas y las uniones a masa (4 y 5).

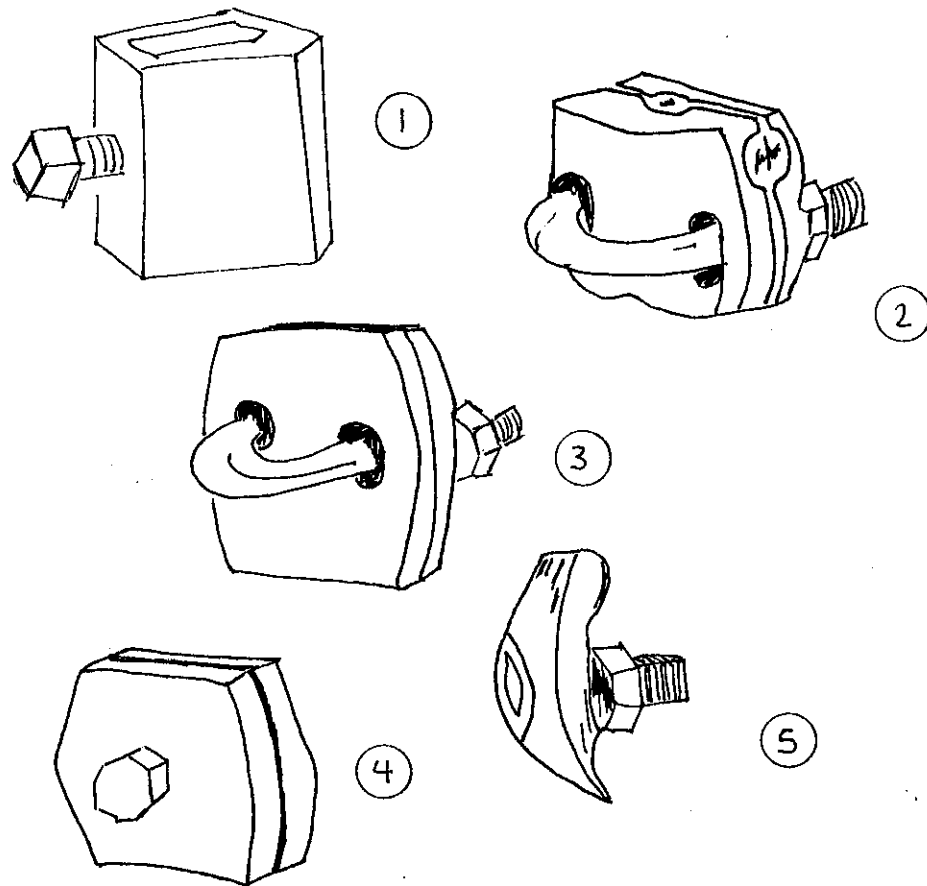


FIGURA No.10
Diferentes tipos de abrazaderas

DIMENSIONES MÍNIMAS DE LAS TOMAS DE TIERRA.

La construcción de las tomas de tierra es sencillo pero se debe tomar en cuenta la siguiente información que se ha recopilado en la tabla No. 4 siguiente:

TABLA No. 4

Material	Formas de la toma de tierra	Sección mínima en mm ²	Espesor mínimo en mm	Otras dimensiones mínimas y condiciones a cumplir
	Banda	100	3	
Acero tendido en el terreno, cincado al fuego, con una capa de cinc de un espesor mínimo de 70	Barra	78 (Corresponde a 100 mm de Ø)		En caso de tomas de en profundidad compuestas diámetro mínimo de la barra 20 mm.
	Tubo			Diámetro mínimo 25 mm. Espesor mínimo de pared 2 mm
	Perfil	100	3	
Acero con revestimiento de cobre	Barra	Para alma acero 50 Para el revestimiento de cobre 20% de la sección de acero mínimo, sin embargo, 35		Para tomas de tierra en profundidad compuestas Diámetro mínimo de la barra 15 mm. Los puntos de unión deben estar configurados de tal modo, que su resistencia contra la corrosión sea equiparable a la del revestimiento de cobre
Cobre	Banda	50	2	
	Cable	35		Diámetro mínimo del hilo 1,8 mm. En caso de envoltente de plomo, espesor mínimo de la envoltente 1 mm
	Barra	35		
	Tubo			Diámetro mínimo 20 mm. Espesor mínimo 2 mm.

Tratándose de extensas tomas de tierra hechas de cobre desnudo o acero con revestimiento de cobre, hay que mantenerlas separadas, a ser posible, de instalaciones subterráneas de acero, por ejemplo, tuberías y depósitos. De otro modo, las piezas de acero están expuestas a un mayor riesgo de corrosión.

Las tomas de tierra deben introducirse, a ser posible, verticalmente en el suelo. La longitud y el número necesario de estas dependen de la resistencia de propagación requerida. En caso de utilizarse varias tomas de tierra de barra es recomendable mantener una distancia mínima equivalente al doble de la longitud de la toma de tierra. Todas deben conectarse a una línea colectora de puesta a tierra común.

El material a utilizarse debe ser una banda de acero cincada con las secciones mínimas de 30 mm x 3,5 mm ó 25 mm x 4mm o una barra de acero cincada con un diámetro mínimo de 10 mm.

Para construir la toma de tierra se pueden utilizar elementos naturales, como los siguientes:

- armaduras metálicas,
- envolventes de plomo y otros revestimientos metálicos de cables,
- tuberías metálicas para el agua,
- estructurales subterráneas apropiadas como muros de contención, piezas de acero de edificios, etc..

Debe ser importante tomar en consideración para una instalación de puesta a tierra la resistencia de propagación R de la toma de tierra, así como la longitud de la toma de tierra y la resistencia específica del suelo.

2.2. APARATO PARA LA MEDICIÓN DE TIERRA

Para la medición de una tierra se puede utilizar el aparato llamado "Megger", es importante mencionarlo ya que es una herramienta útil cuando se está instalando una red de tierras. También se le conoce con el nombre de ohm-metro de bobinas cruzadas.

Este aparato consiste en que su escala es baja y la corriente de medición es alterna, aunque la corriente a través del instrumento de indicación siempre es directa.

Existen diferentes tipos, algunos tienen un generador de corriente directa que es convertida a alterna, otros tienen un generador de corriente alterna y otros una fuente transistorizada.

Como se podrá ver en la Figura No.11 se colocan dos electrodos, uno que es sonda y otro un electrodo auxiliar. Antes de efectuar la medida deben introducirse en el suelo la sonda de medida como mínimo 20 metros del punto de medida y el electrodo auxiliar alejado, como mínimo, 40 metros del punto de medida.

Este debe indicar una lectura que no debe ser superior a 2 ohmios, si en caso el suelo es poco conductor, la resistencia puede ser menor o igual a 5 ohmios.

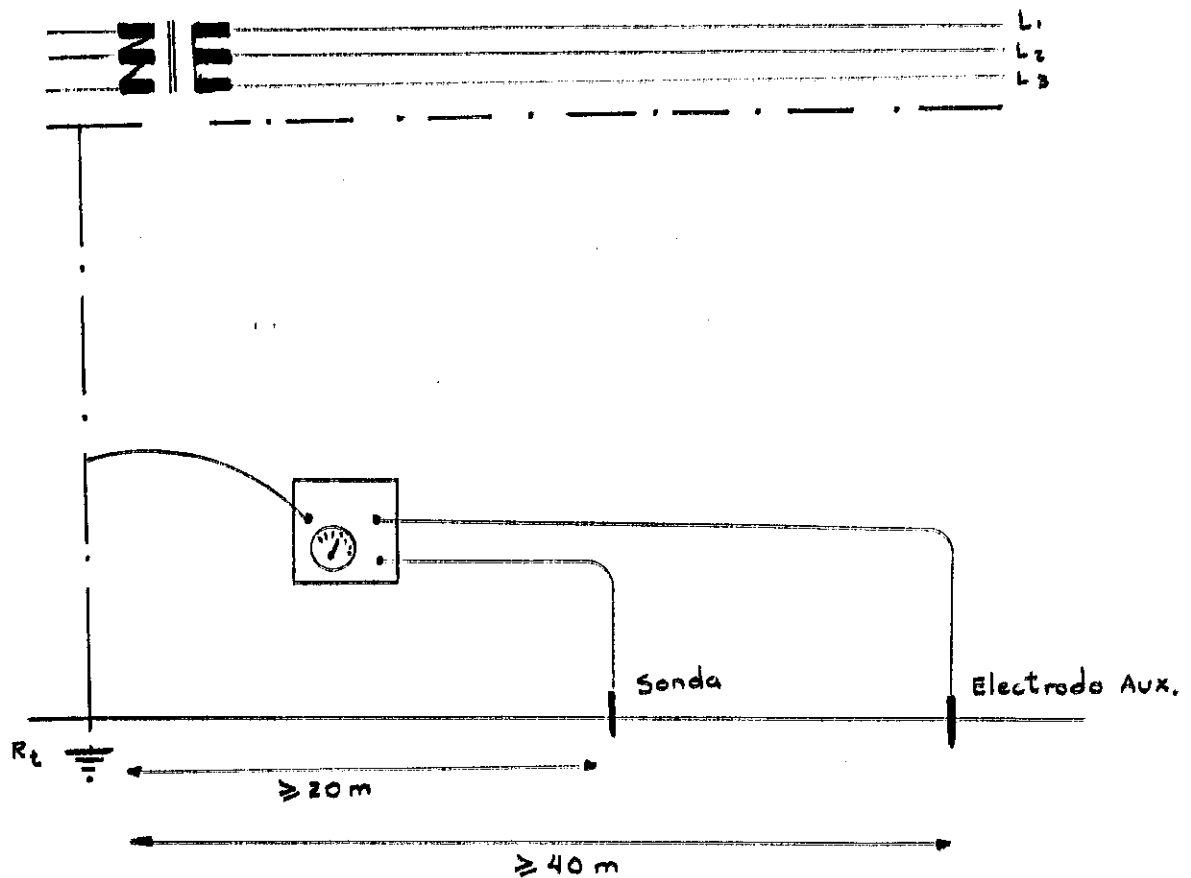


FIGURA No. 11
Medición de resistencia de puesta a tierra

2.3. APLICACIÓN INDUSTRIAL EN SISTEMA DE MOTORES Y UNA RED DE DATOS

2.3.1 Sistema de tierra en motores eléctricos.

Es importante aterrizar la carcasa de los motores mediante un conductor que esté puesto a tierra, esto evitará una tensión de contacto, cuando exista una derivación a tierra debe desconectarse, automáticamente, el motor.

Para que la protección a tierra sea eficaz debe tenerse el cuidado que la tensión de descarga no sea superior a 65 voltios. Para lograr esto se puede usar una sencilla ecuación como:

- a. resistencia de puesta a tierra en motores conectados a redes con neutro a tierra:

$$R_t = \frac{\text{mitad de la tensión a tierra}}{\text{intensidad de desconexión}}$$

- b. resistencia de puesta a tierra (neutro a tierra) en la subestación transformadora:

$$R_o = \frac{65V}{\text{intensidad de desconexión del mayor elemento consumidor puesto a tierra}}$$

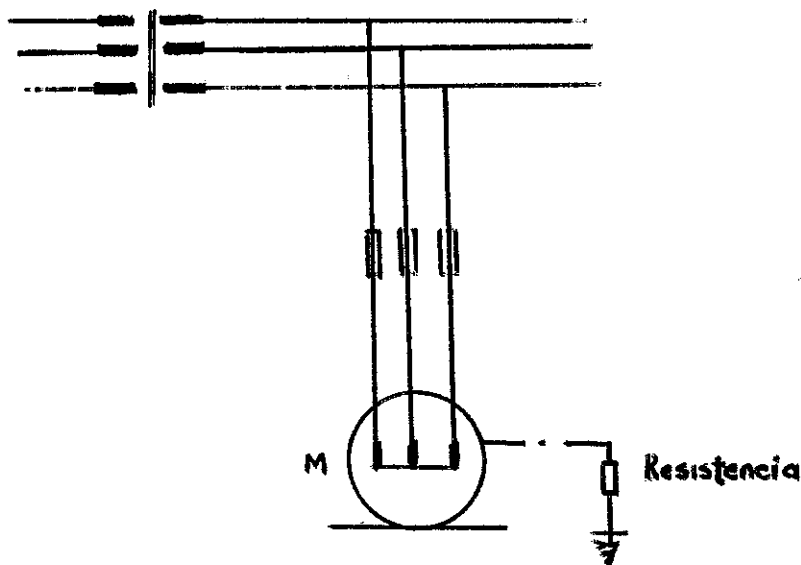


FIGURA No.12
Motor eléctrico con resistencia de puesta a tierra

Se observa que para limitar la tensión a 65V se utiliza una resistencia puesta a tierra en el motor y en el transformador de la subestación.

2.3.2 Equipo de computadora conectado a tierra.

El principal propósito de aterrizar está en proveer seguridad al personal y equipo. Sin embargo, en un circuito aterrizado puede proveer una trayectoria óptima para las corrientes de ruido para ser inyectados en circuitos de transmisión de datos y, así, causar fallas en las computadoras.

El método usado para proveer tal aterrizaje a la red debe ser cuidadosamente planificado y ejecutado. Generalmente, el equipo requiere que las medidas adicionales que sean tomadas al planificar e instalar la red de tierra de seguridad, no deben afectar adversamente al mismo.

El sistema de aterrizado aplicado a todas las unidades de un sistema de computadora es, por lo tanto, posible, establecer reglas comunes para todo el equipo. Para computadoras de tipo de escritorio con quizás dos a cuatro periféricos. La fuente de poder preferentemente se instalará mediante un conducto a lo largo de la pared o sobre el piso, instalando conectores para todas las unidades, al aterrizar los tomacorrientes y por medio del cable aterrizar la estructura de la computadora. ver en la figura No.13

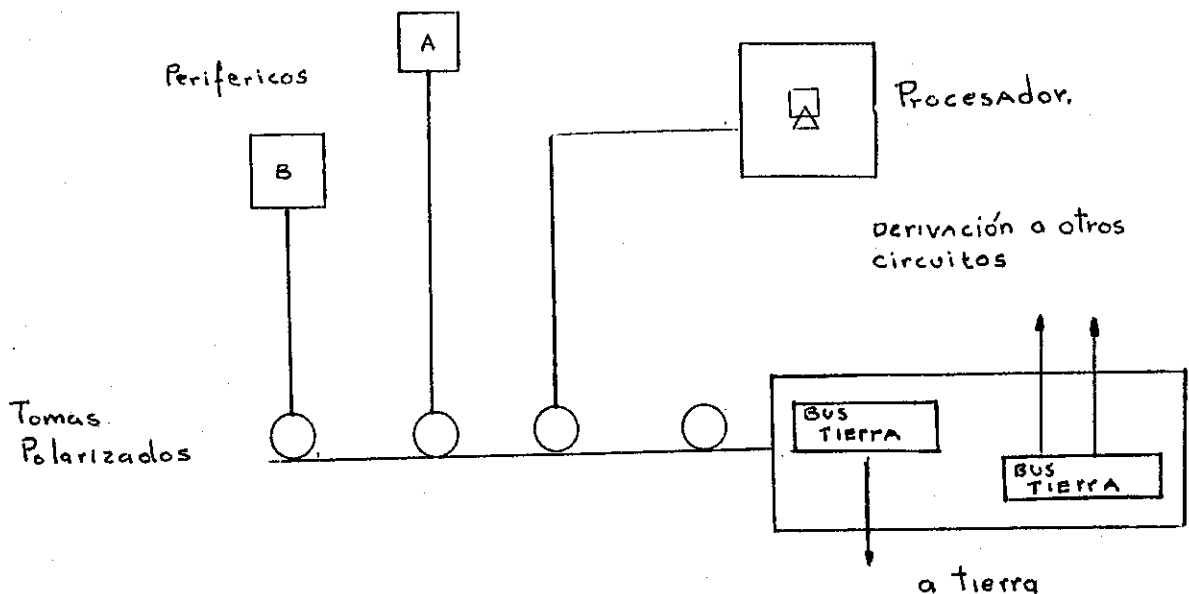


FIGURA No.13

Se muestra un esquema de aterrizado para un sistema pequeño

En un medio grande de sistemas de computadora de escala, comúnmente, se instalan en una sala separada dedicadas al sistema. En la mayoría de estas instalaciones, la fuente de potencia se conecta a una pared montada en un panel. La placa del panel contiene los requeridos fusibles del circuito, un bus neutro y un bus de tierra. Los alimentadores del circuito a las unidades individuales del sistema, originan, desde el panel y todo los cables de cada computadora se conectan sólidamente al bus de tierra del panel.

Sin embargo, cuando dos o más paneles están para ser usados, los procedimientos especiales deben seguirse. La condición ideal es tener un solo punto en la sala de computadora en que todo las tierras de seguridad del equipo converjan (las corrientes de tierra tengan un solo recorrido fuera de la sala). Cuando dos o más paneles se usan (cada uno con su bus propio de tierras) si hay dos o más, las trayectorias que existan fuera de la sala y no hay un punto en que todas las tierras individuales converjan, en tales casos, deberían seguirse las reglas siguientes:

1. los paneles deben ubicarse uno cerca del otro. Evite separar los paneles en la sala, porque esto puede conducir a problemas de ruido debido a la carencia de una referencia,
2. el bus de tierra en cada panel debería aislarse del marco del panel. El bus de tierra debería entonces conectarse junto con el uso de un conductor apropiado,
3. el bus de tierra en el panel debe designarse "Un punto aterrizado en la sala de Computadora " , y debería conectarse con un cable al panel del marco. Este bus de tierra será referencia para todas las conexiones de tierra de seguridad del equipo, como ilustradas en la figura No.14.

Cuando estas reglas son seguidas, la corriente de falla del equipo y otros ruidos de tierra no afectan al sistema de computadora.

No es requerido aterrizar los marcos entre ellos por propósitos de seguridad.

Nota. Cuando dos o más paneles son montados cerca uno del otro (5 pies o menos entre panel) todos energizados desde una misma fuente de poder, el bus de tierra en el panel puede montarse sin aisladores y, por lo tanto, no necesita ser sujeta al panel. Si más de una fuente de poder (UPS, MG conjunto o transformador) es utilizada, todo el bus de tierra en todos los paneles debe montarse sobre aisladores e interconectarse.

Panel de distribución aterrizado.

El poder óptimo de distribución y la seguridad que aterriza el sistema puede ser logrado por la instalación de un Burroughs el Sistema Modular de Poder, mostrado en la figura No.14. Toda la distribución del equipo se contiene dentro de la unidad en sí mismo y todo los cables de terreno de seguridad terminaron directamente a tierra en el marco del transformador. Este tipo de dispositivo de distribución no solamente provee un óptimo aterrizaje sino, también, provee atenuación desde el común -modo ruido, como mostrada por la figura No.14.

Ninguna consideración especial requiere que la seguridad a tierra se cumpla cuando un centro único de poder se usa. Cuando dos o más son los centros de poder, ellos deberían ubicarse adyacente uno al otro y centralmente ubicar a las unidades de computadora y deben interconectarse el bus de tierras dentro de cada centro de potencia.

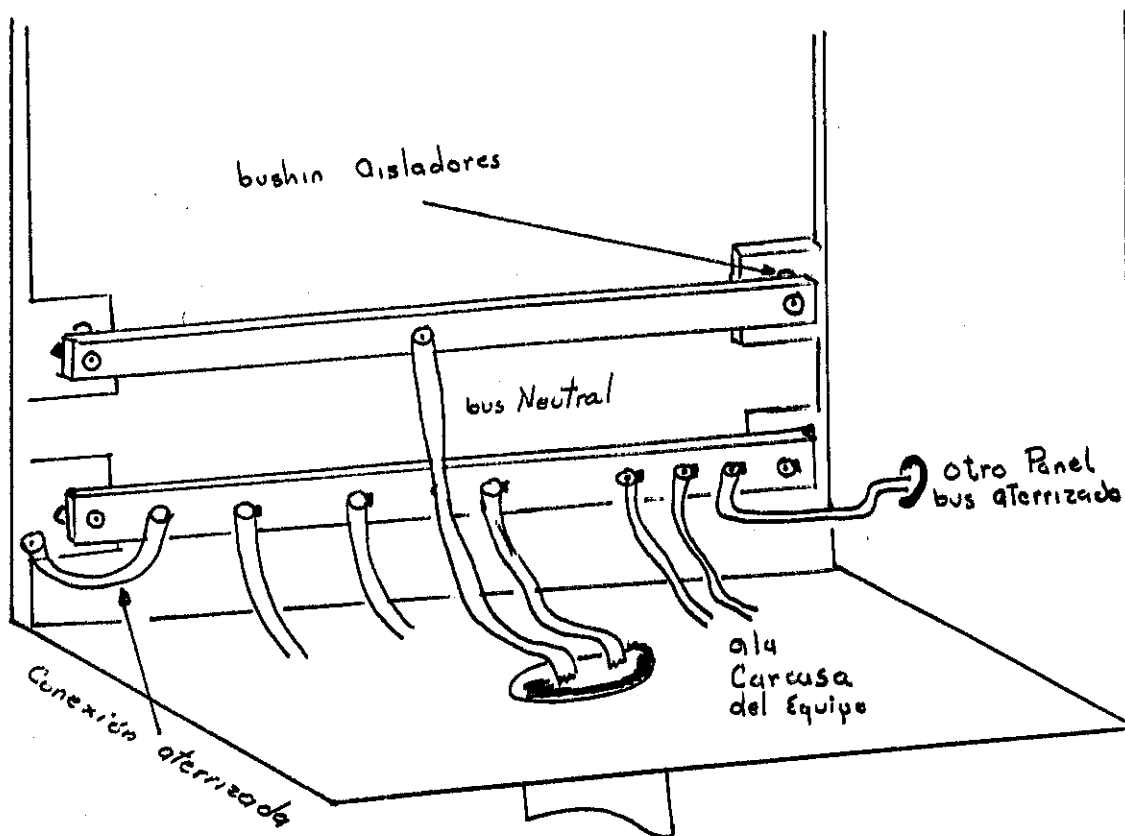


FIGURA No.14

Muestra un panel diseñado para un cuarto de computadoras con un punto de aterrizado.

CAPITULO No.3 - TIERRAS CONTRA DESCARGAS ESTATICAS

3.1 CONCEPTO

En la industria existe, comúnmente, acumulación de electricidad estática sobre el equipo y material manejado o procesado, así como sobre el personal activo es un peligro en donde hay presencia de gases, polvos o las fibras. La descarga de una acumulación de electricidad estática desde un objeto a tierra a otro no aterrizado de potencial más bajo es frecuentemente la causa de un incendio o una explosión si tiene lugar en la presencia de materiales inflamables o mezclas volátiles de aire y vapor.

El aterrizaje del equipo que produce la descarga es comúnmente una parte importante en la eliminación de estática, pero, no disipa siempre la carga. Muchos materiales que llegan a descargar no son conductores y los otros métodos de eliminación estática pueden ser necesarios porque aterrizarlos serían ineficaces. Consiguientemente, cada instalación debe estudiarse cuidadosamente para que se pueda proveer un método efectivo de control estático.

3.2 MÉTODOS PARA LA PRUEBA DE ESTÁTICA

Para detectar electricidad estática se presentan a continuación los diferentes métodos con equipo adecuado.

A. ELECTROSCOPIO PUNTA DORADA

El electroscopio es de delicada construcción, es un instrumento de laboratorio; pero, si se maneja con cuidado éste puede ser utilizado para pruebas de cargas estáticas. Es una ventaja porque es de baja capacidad, prácticamente, no tira chispa arriba de la carga o descarga y, así, podría ser usado en lugares donde se presentan sustancias inflamables. Estos dispositivos, por supuesto, pueden ser sólo usados para la indicación de presencia de estática y no de magnitudes.

B. VOLTÍMETRO ELECTROSTÁTICO

Como las cargas estáticas son caracterizadas por alto voltaje y baja energía, los instrumentos que no tienen prácticamente drenaje de corriente deben ser usados para medidas de voltaje. El voltímetro electrostático es un instrumento que no podría tener una exactitud alta, es lo suficientemente preciso para la determinación del voltaje en cargas estáticas.

C. TESTER DE TUBO NEÓN

Estos dispositivos son muy baratos y pueden ser llevados para revisar, ocasionalmente, cargas estáticas. Sin embargo, sólo indica la presencia y no una medición.

D. ELECTROMETRO DE TUBO AL VACÍO

Este instrumento podría ser usado para detectar la presencia de electricidad estática pero ello debería tener una alta impedancia de entrada para limitar el drenaje de corriente. Los instrumentos son disponibles con entrada de impedancia de orden de 10^{15} ohmios.

E. ELECTRÓN CAÑÓN DETECTOR

Este detector opera de la siguiente manera: la corriente del cañón es ajustada en el circuito de plato, algunos valores cerca de medio punto del voltaje de la rejilla y la corriente de plato por medio de la batería C. La sensibilidad del circuito está determinada por el drenaje de la resistencia R.

Usualmente, 5 M ohmios da un resultado satisfactorio, la prueba puede ser conectada a una barra de oropel cerca de 3 o 4 en (75 o 100 mm) de largo, o solo al final de la barra del conductor de la rejilla del tubo. Si la prueba es extraída cerca de una sustancia que tiene una carga positiva ésta se reflejará sobre la rejilla del cañón y dará como resultado un aumento de la corriente del plato. Y si la prueba es extraída cerca de una sustancia que tiene una carga negativa, la corriente de plato decrece. Comúnmente, se usa un indicador de milímetros en este circuito, aunque posiblemente podría ser usado metro gráfico que permitiría grabar las intensidades relativas, sin que los observadores pudieran estar presentes.

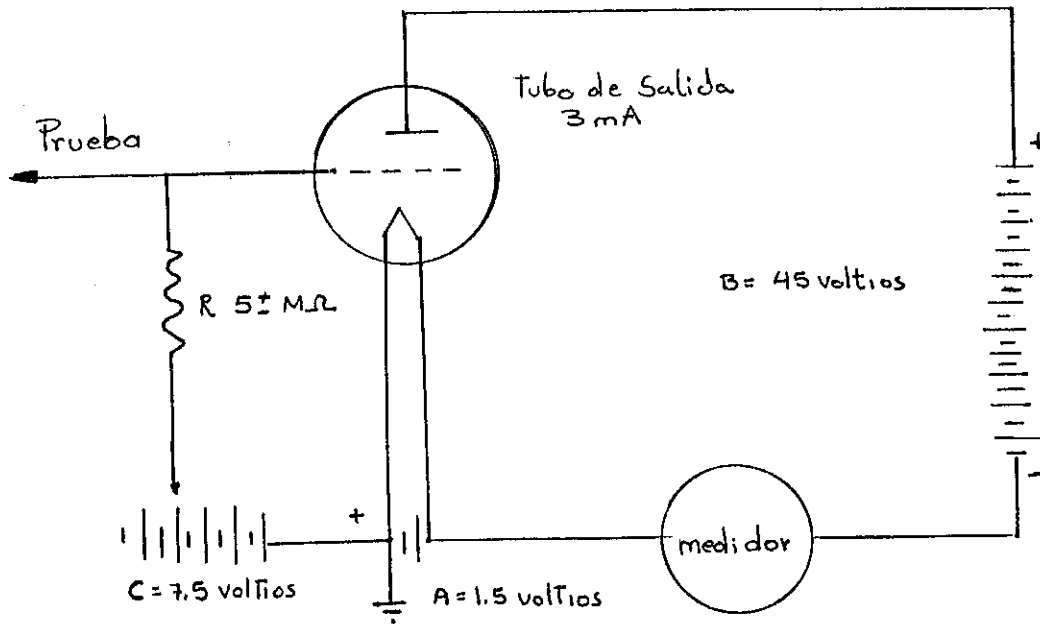


FIGURA No.17
Diagrama lineal de un detector de estática

F. INDICADOR ESTÁTICO INDUSTRIAL

Es un instrumento comercial que detecta la presencia de cargas estáticas y da una señal audible y visual. También contiene un instrumento para indicar la magnitud de la carga. Es un dispositivo portátil, puede instalarse en una ubicación permanente con un sistema de antena instalado en las áreas activas para detectar si la estática está presente.

3.3 LAS CONDICIONES QUE PROPICIAN LA PRODUCCIÓN DE CARGAS ESTÁTICAS

La posibilidad de producir una descarga eléctrica (estática) y el grado en que se producirá dependerá, principalmente, de lo siguiente:

- a. características de los materiales,
- b. velocidad de separación,
- c. área en contacto,
- d. movimiento entre sustancias,
- e. condiciones atmosféricas.

a. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Se ha observado que los materiales o las sustancias tendrán propiedades aislantes por lo menos en algún grado. En su forma física pueden ser en forma de sólido, líquido o gases o pueden romperse en partículas que forman polvo. El grado de carga eléctrica que puede existir entre dos materiales será proporcional a la diferencia en su constante dieléctrica. También, la carga positiva mostrará, comúnmente, estar sobre el material que tiene una constante dieléctrica alta.

b. VELOCIDAD DE SEPARACIÓN

Como la velocidad de separación de dos cargas opuestas aumenta en una sustancia, la oportunidad para encerrar las cargas sobre los materiales también aumentan, por lo consiguiente, aumentarán las diferencias potenciales entre ellos.

d. EL EFECTO DE LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA DE MOVIMIENTO

De una fricción o rozadura, frecuentemente, se ha llamado electricidad friccional, pero, realmente, la rozadura no es parte física en el proceso de electrificación, aunque la fricción hace que aumente la electrificación. Esto es porque en el proceso de rozar, hay más picos sobre las superficies y se atraen en el contacto, desde superficies que son lisas y planas desde el punto de vista humano, vistas desde un microscopio estas superficies son ásperas con picos, los electrones viajan únicamente donde realmente el contacto ocurre. Los líquidos rociados o expulsados desde una boquilla, particularmente si ellos golpean sobre una superficie, frecuentemente producen cargas de alto - voltaje.

Los materiales en un tanque pueden acumular las cargas estáticas como resultado de agitación deliberada del líquido, a causa del movimiento del tanque o mientras el tanque está siendo llenado. Un ejemplo de movimiento que produce la separación y contacto alterno de materiales es el paso de una faja sobre una polea, a la más alta velocidad, más frecuentemente ocurren estas alternancias y mayor es la carga estática sobre la faja. El mismo principio aplica a cualquier proceso pasando sobre rollos, tal como en la fabricación y procesamiento de materiales de goma, papeles, textiles, etc. Las llantas de goma rodando sobre las calles y caminos producen el mismo efecto, por lo que se puede explicar cargas estáticas sobre automóviles, camiones de tanque, etc.

c. EL ÁREA EN EL CONTACTO

El área de sustancias en el contacto tiene una presencia directa sobre el grado de electrificación porque un área más grande de contacto significa mayor facilidad de transmitir iones positivos y electrones negativos desde una sustancia a otra.

e. LAS CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones de humedad y temperatura se relacionan a la producción de estática, es bien conocido por todos cuando se experimenta una descarga con un objeto de metal sobre un día seco frío, el cual después de acumular una carga por caminar a través de una alfombra o estando en el contacto con algún otro material aislante. Esto muestra, claramente, el peligro que puede existir en una operación que puede requerir condiciones controladas de humedad y temperatura.

3.3.1 PRESENCIA DE VOLTAJE

Se ha observado en diferentes industrias que hay una presencia de voltaje producidos por cargas electrostáticas en el equipo que, constantemente, tiene un tipo de movimiento.

En la tabla No.5 puede verse que voltajes de 25,000 V saltan por encima de una pulgada, (25.4 mm) tal chispa podría liberar fácilmente energía suficiente para encender mezclas como combustibles.

TABLA No. 5

Varios procesos en el cual se produce un rango apreciable de voltaje estático

Tipo de equipo	Rango de voltaje observado en KV
Fajas	60 - 100
Máquinas de papel	05 - 100
Tanques de camiones	mas de 25
Fajas para grano	mas de 45

De la tabla No.6 se puede observar que aún voltajes de 25,000 v podrían saltar más de una pulgada, lo cual es suficientemente para principiar un incendio.

TABLA No. 6

Distancia en el aire que puede saltar una chispa para varios voltajes

Voltaje KV	Distancia pulgada
5	0.255
20	1.00
35	2.00
70	5.85
100	9.60
140	13.95

3.3.2 LAS CONDICIONES REQUERIDAS PARA QUE UNA CARGA ESTÁTICA SEA CAUSA DE IGNICIÓN.

Una simple chispa puede ser que produzca ignición en una mezcla de aire y vapor, debe haber energía suficiente almacenada en un cuerpo cargado. La cantidad de energía puede ser calculada por la fórmula $E = 1 / 2 cv^2 \times 10^{-9}$ en que c es la capacidad en picofaradios. V es la potencia en voltios y E está en milijoules. La energía necesaria para la ignición depende de varias variables, tal como la forma y el espaciamiento de los electrodos entre que ocurre la chispa y la composición de la mezcla de gas y la presión. Las pruebas han mostrado que 0.24 mJ de energía almacenada se requieren que encienda una mezcla óptima saturada de aire y gas de hidrocarburo, pero donde las diferencias potenciales son menos que 1500 V,. Valores aproximados de capacitancia en picofaradios de algunos objetos almacenadores de energía son como se indica a continuación.

Cuerpo humano 100 a 400, automóvil 500, camión de tanque (2000 galones) 1000, 12-ft tanque de diámetro con el revestimiento aislado 100,000.

Para que se produzca ignición, además del requerimiento de energía suficiente en la chispa de descarga, en la ignición tiene que ver la mezcla. Si la mezcla es pobre o demasiado rica, la ignición no ocurrirá.

3.4 GENERACION DE ESTATICA

La electricidad estática es generada por el contacto y la separación de diferentes materiales. Cuando están en contacto, los electrones de un material pueden moverse a través de la superficie del otro, donde ellos se alinean, asimismo, porque el material primero tendrá una carga positiva delgada, debido a la pérdida de electrones. Una carga estática se debe a un exceso o deficiencia de electrones y una superficie que tiene demasiada deficiencia de 1 electrón, en cada 100,000 átomos está fuertemente cargado.

Si dos materiales que son buenos conductores están en contacto, uno con el otro y entonces se separan, el exceso de electrones en uno regresa al otro antes que la separación esté completa. Pero, si ambos son aisladores, ambos muestran una carga, porque algunos de los electrones excesivos se complementarían en uno de ellos.

Cuando cualquiera de dos materiales se rozan juntos, uno más alto puede llegar a ser positivo respecto del otro. Una típica serie triboeléctrica se muestra en la tabla 7.

TABLA No.7
Series Triboeléctrico

Abestos
Vidrio
Mica
Seda
Papel
Algodón
Ebonita
Níquel
Cobre

La tabla 7 sirve como una regla básica útil para predecir el comportamiento de una sustancia cuando rozó con otra. La naturaleza de la carga producida sobre una superficie es dependiente de las condiciones de prueba, las condiciones físicas de la superficie y la presencia de impurezas.

3.5 TIERRAS PARA LA PROTECCION DE ESTATICA

Se sugiere unir las partes diversas del equipo y aterrizar el sistema entero. Aterrizar no es una solución; por ejemplo, si el material siendo procesado es más bien abultado y tienen características de alto dieléctrico, la carga sobre la porción superior del material se aislará efectivamente de la tierra y puede resultar en una chispa de descarga. Aún las películas u otros pedazos de materiales o por causa del área en el contacto o la velocidad de separación, acumula cargas que no pueden cargarse afuera, adecuadamente, por aterrizar una conexión; por lo consiguiente, los siguientes métodos de control que se utilizan frecuentemente.

3.5.1 METODOS DE CONTROL DE ESTATICA Y CONECTADOS A TIERRA

EL CONTROL DE HUMEDAD

Es importante tener un control de humedad ya que esto ayuda a controlar la estática. Se recomienda inyectar vapor en el área, especialmente, cerca del punto donde la estática se acumula ha dado muy buenos resultados para propiciar humedad. Un valor exacto de humedad es difícil determinarlo exactamente; sin embargo, se cree que donde la humedad relativa se mantiene en la gama de 60 por ciento en temperatura ordinaria bajo techo, las acumulaciones estáticas no son probables para alcanzar proporciones peligrosas.

LOS COLECTORES ESTÁTICOS O ELECTROSTÁTICOS DE INDUCCIÓN DE DISOCIACIÓN

Combos metálicos o las barras de oropel son, a veces, efectivas si se ponen muy cerca del lugar en que se encuentre el punto más grande de acumulación estática.

NEUTRALIZADORES

Los neutralizadores son ionizadores del aire cuando pasa cerca el material móvil. Estos neutralizadores realizan disociación o por el uso de material radioactivo que emite partículas alfa por alto - voltaje que acentúa el aire. Existen dos tipos, el primero requiere de una barra aterrizada en la proximidad cercana al material, mientras que el segundo no emplea tal barra aterrizada y opera en una potencialidad más alta. En la aplicación de neutralizadores, se debe tener cuidado para proteger a todo el personal, especialmente, de mantenimiento, desde circuitos de alto-voltaje o de la radiación nociva en el caso de radioactivo de neutralizadores.

FAJAS DE TRANSMISIÓN DE VELOCIDAD

Las fajas cuando hacen contacto con las poleas producen el efecto de generar cargas estáticas. En ubicaciones en donde tales cargas son un peligro verdadero, debería considerarse un cambio en la transmisión mecánica.

Para evitar acumulación de cargas se puede usar el siguiente dispositivo. "El peine" se usa frecuentemente para drenar afuera la carga desde una faja móvil. Este consiste en un pedazo conectado de hierro angular a la anchura del cinturón con los pernos de metal soldados a una pulgada aparte en el hierro angular. Los pernos no deben sobresalir arriba de los lados del hierro angular. Cuando se aplicó, el peine se instala dentro de 1/4" sobre la faja, cerca del punto donde la faja deja el manejo y conduce las poleas. Donde es necesario usar faja transportadora, debería considerarse el uso de fajas conductoras de goma, que tienen la capacidad para drenar fuera, por lo menos, algunas de las cargas estáticas. Un fabricante de fajas considera que cuando éstas muestran una resistencia con una magnitud de 10 Mego Ohm y con un diámetro de 8 1/2 pulgadas, tendrá propiedades de disipar la estática, satisfactoriamente.

LOS PISOS CONDUCTIVOS

Los pisos conductivos son un medio que se puede requerir donde existe el peligro de algunos explosivos o esos ciertos gases o solventes - aire - mezclas. El material debe ser de goma o compuestos conductivos.

La resistencia del piso debe ser menos de 1,000,000 Mohm cuando se mide entre dos electrodos a una separación de 3 pies. Además, para proteger al personal contra el choque eléctrico peligroso, la resistencia del piso debería ser más de 250,000 ohmios cuando se midió entre un electrodo puesto en cualquier punto sobre el piso y una conexión en el terreno y entre dos electrodos 3 pies aparte en cualquier punto sobre el piso.

Recomendaciones

Cuando existen pisos conductivos se usan los zapatos conductivos, el operador o cualquier miembro del personal al entrar en el área debe usar ropa conductiva, para que no puedan provocar una chispa. Su resistencia debería ser verificada en intervalos regulares o antes de entrar en el área de trabajo. Los zapatos son disponibles para determinar la resistencia mientras están siendo usados.

Donde los zapatos y pisos conductivos se requieren, la resistencia entre la ropa y terreno no debe exceder 1 Mohm, que es el total de resistencia de zapatos conductivos sobre una persona más la resistencia del piso. Otros controles podrán ser considerados tal como los siguientes:

- a. proveer vestimenta de acuerdo con la producción de calidades de estática,
- b. establecimiento rígido de procedimientos operativos,
- c. el piso donde es conductivo no es usado a lo largo de un área, los colchones de goma conductivas pueden considerarse.

Se recomienda hacerle al equipo de control de estática el siguiente mantenimiento:

- a. determine si todas las unidades y aterrizajes en las conexiones están intactos,
- b. comprobar la resistencia al aterrizar. Esto puede ser determinado por el uso de ohmetros comerciales. Una resistencia de la orden de 1 Mohm sea comúnmente satisfactoria para la mitigación de estática,
- c. examínense los neutralizadores de estática para estar seguros que ellos están en la posición correcta y si del alto - voltaje del tipo que ellos se energizan y el área de puntos está limpia,
- d. revisión de la faja para ver si no han perdido sus características conductoras,
- e. las medidas de resistencia, conductiva del piso,
- f. tomar lecturas con instrumentos para determinar si existen cargas estáticas acumuladas o a causa de la pérdida de uno de los dispositivos estáticos de control o a causa de un cambio en condiciones activas, tal como velocidad de la máquina, adición de material - manipulación del equipo o el uso de materiales nuevos que pueden tener características diferentes.

3.6 RECOMENDACIONES PARA VARIOS TIPOS DE INDUSTRIA

3.6.1 LA INDUSTRIA DE GRANO Y HARINA

Al mover materiales por medio de bandas transportadoras, ascensores, bombas de vacíos, sistemas de soplado y la maquinaria de fabricación pueden ser responsables de la acumulación de carga y resultando descarga estática. Las partículas finas de granos que se desempolvan suspendidas en el aire al afrontar constituyen una fuente óptima de explosión. La tabla 8 muestra la energía eléctrica mínima requerida para una ignición cuando se presentan como una capa o nube de polvo.

TABLA No.8

Material	Nube de Polvo (mjoules)	Capa de polvo (mjoules)
Aluminio	10	1.6
Aspirina	25	160
Cocoa	100	---
Grano	30	---
Hierro	20	7
Poetileno	30	---
Arroz	40	---
Jabón	60	3.84

3.6.2 LA INDUSTRIA DE GAS

El movimiento de un gas que se contamina con óxidos metálicos, partículas a escala o las partículas líquidas pueden producir electrificación.

El aire comprimido que contiene partículas de vapor condensado de agua, dióxido líquido de carbón y el vapor, cuando descargan desde un orificio, pueden producir acumulación de estática.

3.6.3 LA INDUSTRIA DE PINTURA

El uso de solventes combustibles en la pintura - mezclado en operaciones representa un peligro de explosión e incendio debido a la ignición por chispas estáticas que puede ser generado por transferencia de líquido desde recipientes abiertos, por la salpicadura en la llena de tanques, por la faja - al manejar maquinaria y por los trabajadores mismos.

3.6.4 LAS INDUSTRIAS DE IMPRESIÓN Y PAPEL

El movimiento del papel en sí mismo sobre los rollos diversos y la maquinaria de fabricación tiende a ocasionar voltajes estáticos.

Donde solventes y las tintas combustibles se usan en el proceso, la carga así producida tiende a causar incendios o explosiones. La carga estática es también una fuente de problema desde el punto de vista de la producción. Las hojas que llegan a ser cargadas son difíciles de controlar y el papel pueden rasgarse; también la imagen impresa puede ser dañada por la atracción de partículas de polvo y fibras flojas de papel a papel.

3.6.5 LA INDUSTRIA DE HULE

Donde se maneja el proceso de fabricación del hule que contiene un porcentaje alto de nafta. Las cargas estáticas generadas en muchos puntos en el proceso son una fuente frecuente de ignición de los vapores de nafta. El mantenimiento de una humedad relativa de 50 por ciento o más, además aterrizando las partes diversas del equipo procesador y el uso de eliminadores de estática. Los líquidos inflamables fuera de peligro deberían manejarse en sistemas o recipientes cerrados. Cuando transfirieran líquidos combustibles desde un recipiente abierto a otros, los recipientes deberían afianzarse junto para mantener ambos en la misma potencialidad, así evitando cualquier posibilidad de chispa. El hule que cubre máquinas son particularmente susceptibles a incendios ocasionados por la ignición de vapores combustibles desde la descarga de estática, la electricidad generada por el movimiento de tela sobre rollos y debajo las cuchillas del propagador.

3.6.6 INDUSTRIA TEXTIL

Dentro del medio del proceso textil existe presencia de pequeñas partículas de tela, pues, se trata de mantener el ambiente con extractores y además, un sistema de aire acondicionado moderno y el control preciso de humedad, de esta manera se reducen posibles casos de incendio. Un incendio puede atribuirse a la electricidad estática, pero, conectando el marco de máquina y aterrizando todo metal y manteniendo la humedad relativa en 50 por ciento o más, comúnmente elimina el peligro.

CAPITULO No. 4 - CONEXIONES A TIERRA

4.1 COMPARACIÓN DE HARNESS ATERRIZADO, SEGÚN NORMAS DIN Y ANSI

A continuación se hace una comparación de algunas normas americanas y europeas sobre lo que es el aterrizaje de líneas a tierra y al enlace del conjunto de tierras se le conoce como Harness.

Se han separado de un lado normas europeas y del otro normas americanas, para distinguir alguna diferencia existente entre ellas.

NORMAS EUROPEAS	NORMAS AMERICANAS
<u>DIN/VDE 0100. Parte 540</u> Las tomas de tierra están hechas a base de tubo o perfil de acero. Se introducen verticalmente en el suelo. La distancia de separación mínima equivalente al doble de la longitud de la toma de tierra.	<u>Artículo 250-83</u> La barra no debe ser menor de 8 pies (2.44 m) en el largo, de 3/4 de diámetro de acero o hierro. La distancia de separación es de 6 pies o el largo enterrado de la barra.
Aquí la única diferencia existente es la distancia de separación.	

NORMAS EUROPEAS	NORMAS AMERICANAS
<u>DIN/VDE 0100. Parte 410</u> Se deben unir las piezas conductoras: <ul style="list-style-type: none"> - conductor de protección principal, - tubería de agua, - tubería de gas, - otros sistemas metálicos. 	<u>Artículo 250-83</u> Se deben unir: <ul style="list-style-type: none"> - estructuras metálicas, - tubería de gas, - tubería de agua, - electrodos.
Los dos artículos coinciden, tanto los de las normas americanas como europeas y son para la compensación potencial; tienen por norma la unión de tuberías metálicas.	

NORMAS EUROPEAS	NORMAS AMERICANAS
<p><u>DIN/VDE 0141</u> Las líneas de puesta a tierra deben tener las secciones mínimas siguientes:</p> <p>Cobre 16mm Al 35mm Acero 50mm</p>	<p><u>ANSI 250-94</u> Los cables de toma de tierra, las secciones mínimas son:</p> <p>Cobre 1/0 (15.98mm) Al 3/0 (31.8 mm)</p>
<p>Las secciones mínimas de los conductores son casi iguales, es muy poca la diferencia.</p>	

NORMAS EUROPEAS	NORMAS AMERICANAS
<p><u>DIN/VDE 0141</u> Las conexiones entre las líneas de puesta a tierra y las tomas de tierra deben ser seguras, con buena conductividad eléctrica. Se usarán uniones por soldadura, tornillos y dispositivos de fijación, cassos de presión, remachados, enrroscados, uniones de calbes enrroscados y protegidos contra la corrosión.</p>	<p><u>ANSI 250-115</u> Los amarres de la toma de tierra a los conductores deben ser por medio de abrazaderas de hierro galvanizado.</p> <p><u>Artículo 250-72</u> Sugiere la unión con contratueras, bujes ordinarios y puentes de unión, cuña de aterrizaje; todas estas piezas deben ser a prueba de corrosión.</p>
<p>Las dos normas coinciden en los que se refiere a la unión, por medio de abrazadera o uniones, ya sea, soldadas o unidas por abrazaderas. Lo importante es que sea una unión fuerte del cableado, tubería, tomas de tierra y todo lo que un aterrizaje debe contener para evitar falsos contactos.</p>	

Se hace una comparación entre dos tipos de normas y las diferencias que se observan no son significativas, las dos tienen por objetivo una protección adecuada del sistema y del factor humano.

4.2 SISTEMA DE CIRCUITO NEUTRAL

La mayoría de los sistemas de conexión a tierra utilizan algún método neutral colocado en uno o más puntos.

Cada método que se utilice depende del circuito externo del sistema neutral a tierra, más que el nivel de la conexión. En cada caso la impedancia del generador o transformador, cuyo neutral se encuentra a tierra, está relacionado en serie con el circuito externo. Entonces, un generador o transformador conectado sólidamente puede o no proveer una conexión a tierra efectiva, dependiendo de su impedancia.

Como cada método es un análisis diferente, se desarrollarán en los puntos posteriores.

4.3 CONEXIÓN DE RESISTENCIA

El punto neutral está conectado a tierra a través de una o más resistencias. En este método, con las resistencias utilizadas con excepción de sobrevoltajes momentáneos, los voltajes de línea en el suelo que existen durante una falla eléctrica son casi los mismos que en un sistema sin conexión a tierra.

Un sistema conectado a tierra, apropiadamente, puede evitar sobretensiones momentáneas que sean destructivas. Para sistemas de resistencias con conexión a tierra con menos de 15KV, dichas sobretensiones no son consideradas peligrosas, a menos que la resistencia exceda los siguientes límites: $R_0 \leq X_{\infty}/3$, $R_0 \geq 2 X_0$. Esta corriente del suelo (menor que 50 Amp) es menor que la utilizada en las conexiones de resistencia.

La conexión de resistencia puede ser de dos tipos: de alta resistencia o de baja resistencia, cuya distinción se basa en la magnitud de la corriente de falla eléctrica que se permite que fluya a tierra. Ambos tipos están diseñados para limitar sobretensiones transitorias a un nivel de un 250% arriba de lo normal; ahora si se utiliza el método de alta resistencia, este no requiere despejar la falla a tierra debido a que la corriente de la falla está limitada a un nivel mucho más bajo. Este bajo nivel, generalmente, en 5Amp y debe ser igual a la capacidad total de la descarga de corriente a tierra. Es recomendable evitar en las conexiones a tierra de alta resistencia en donde la falla de corriente en la línea a tierra es mayor a 10Amp.

El método de baja resistencia tiene la ventaja de despejar el área de circuito en forma inmediata y selectiva, pero, requiere que la corriente de la falla a tierra sea alta, 400Amp o más, para que actúe el relevador de falla a tierra. Las conexiones a tierra de alta resistencia pueden ser aplicadas a voltajes medios para prevenir el sobrevoltaje transitorio, evitando así incrementar los relevadores de cada circuito.

Al limitar la resistencia,

- a) se reducen los efectos de falla eléctrica, tal como que se queme equipo eléctrico (dispositivos de distribución, transformadores, cables y maquinaria),
- b) se reducen esfuerzos mecánicos en circuitos y aparatos que transportan corrientes de falla eléctrica,
- c) es menos frecuente un riesgo de choques eléctricos en el personal.

4.4 CONEXIÓN DE REACTANCIA.

Es cuando el reactor es conectado entre el sistema neutro y tierra. Debido a que la corriente de falla a tierra podría fluir en un sistema de conexión de reactancia. En una sistema de conexión de reactancia la corriente disponible debe ser de, por lo menos, el 25% y preferiblemente el 60% de la corriente de falla trifásica para evitar sobretensiones transitorias ($X_0 \leq 10X_1$). Esto es mucho más alto que la corriente de falla mínima requerida en un sistema de resistencia a tierra y la conexión de reactancia no es considerada una alternativa para la conexión a tierra de resistencia.

En la práctica, el sistema de reactancia es utilizada únicamente en el cual el neutral de un generador debe ser conectado a tierra. En este caso, será necesario agregar un valor bajo al reactor para limitar la corriente de falla a tierra a través del generador con un valor no mayor que la falla trifásica del generador.

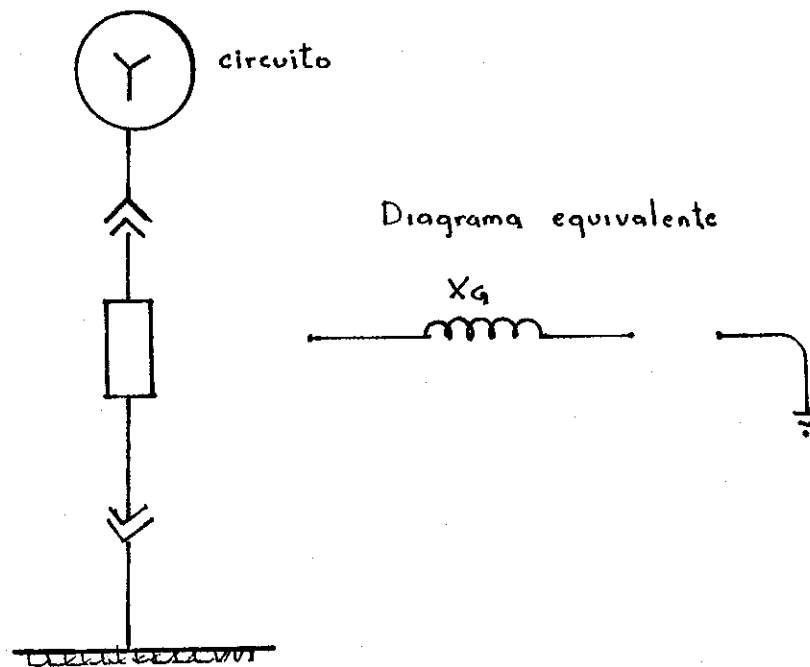
4.5 SÓLIDAMENTE ATERRIZADOS.

Esto se refiere a la conexión del punto neutro de un generador, transformador de potencia o aterrizado el transformador directamente a una estación de tierra, debido a la reactancia del generador o transformador a tierra en serie con el circuito neutral, una sólida conexión a tierra no significa que el circuito neutral sea impedancia cero.

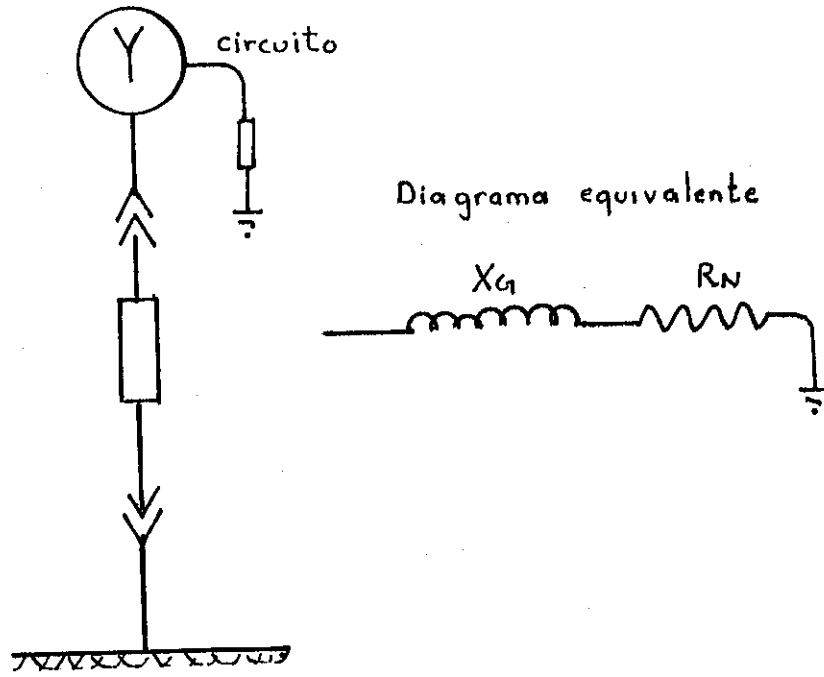
Si la reactancia del generador o transformador es muy alta, respecto del sistema total de reactancias, los objetivos de tener sobretensiones transitorias no serán alcanzados. Es necesario determinar el grado de toma de tierra proporcionado al sistema, entonces, será la magnitud de la corriente de la falla eléctrica a tierra comparada con la corriente del sistema trifásico.

Si no se utiliza en los generadores, la conexión sólida sin impedancia externa puede permitir una máxima fuga de corriente del generador para exceder la corriente de la falla trifásica al máximo, Por lo tanto, los generadores con neutral aterrizado deben estar conectados a través de un reactor, el cual limitará la corriente de falla de corriente a un valor no mayor de la falla del generador de tres fases.

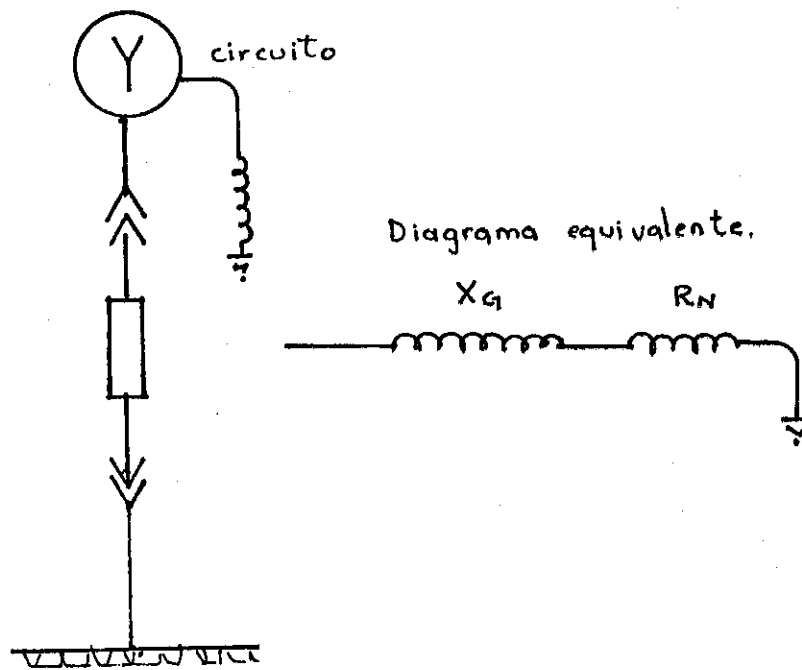
FIGURA No.23
Sistema de circuito neutral y diagramas equivalentes
no aterrizados y sistemas de neutral aterrizado



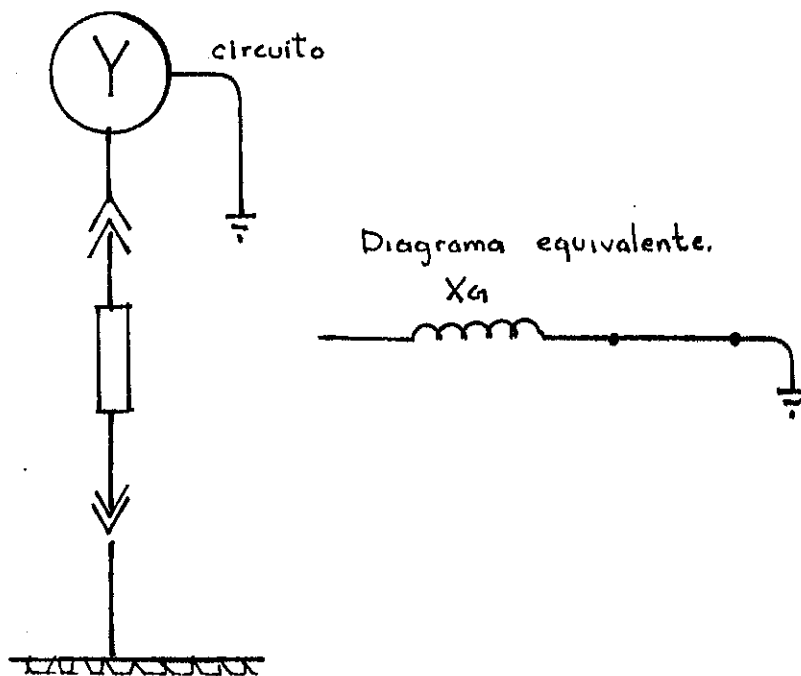
No aterrizados



Resistencia aterrizada



Reactancia aterrizada



Sólidamente aterrizada

4.6 ANÁLISIS DE CONEXIÓN DE TIERRA EN LA PROTECCIÓN

Para realizar una buena protección en la práctica se analizan varios tipos de dispositivos que son eficaces en contra de contactos a tierra.

4.6.1 Protección contra contactos a masa, mediante transformador de aislamiento

Son transformadores de relación 1:1 (es decir, con igual número de espiras en el primario y en el secundario) cuidadosamente aislados, de forma que el circuito secundario esté completamente separado del circuito primario y, por lo cual, de la red. De esta manera, aunque exista un contacto a masa no hay retorno a través de tierra. Se puede emplear en máquinas de soldadura eléctrica, hornos eléctricos, etc.

4.6.2 Protección por neutralización

Este tipo de protección se utiliza con neutro aislado. Las carcasas de las máquinas y las armazones de los aparatos eléctricos se conectan al neutro de la instalación y el neutro se lleva a tierra en la subestación transformadora, a través de una resistencia de puesta a tierra.

Si la carcasa de una máquina se pone en contacto con una fase, se produce una corriente de cortocircuito a través de la fase y el neutro, corriente que ha de fundir los fusibles montados en la entrada de la máquina. Según se muestra en la figura No.24.

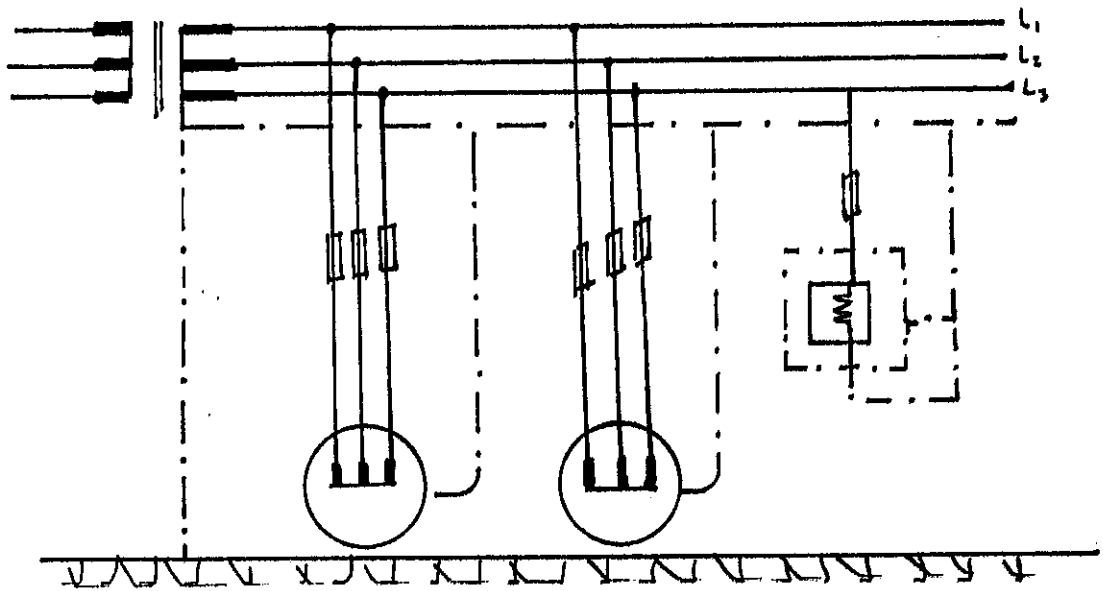


FIGURA No. 24
Protección por neutralización

4.6.3 Protección mediante relé de tensión

Es cuando se quiere proteger una máquina; se conectan a tierra a través de un relé, el cual funciona de la siguiente manera:

actúa sobre la bobina de desenganche de un disyuntor montado a la entrada del aparato, en el caso de que entre la armazón y la tierra aparezca una tensión. Como la bobina del relé puede preverse para una corriente muy pequeña (por lo tanto, su resistencia será elevada) la toma de tierra puede ser también de elevada resistencia.

La toma de tierra debe ser igual o menor a 800 ohmios para los relés de 65 V, e igual o menor de 200 ohmios cuando se trata de relés para 24 V.

Los disyuntores de protección accionados por el relé de tensión deben construirse de forma que interrumpan rápidamente (en un tiempo máximo de 0,1 segundos).

Las carcasas de máquinas equipadas con disyuntores separados no deben ir conectadas entre sí, sino que cada uno de estos dispositivos ha de ir provisto de su correspondiente relé de tensión y de su toma de tierra independiente, para evitar una desconexión de todo el equipo. Ver Figura No.25

4.6.4 Protección mediante relé diferencial de intensidad

Este dispositivo consta de 4 bobinas primarias que están recorridas por las corrientes de las 3 fases y del conductor neutro. Si no hay contacto a masa, la suma de las 4 corrientes será siempre nula y no circulará ninguna corriente por el secundario del transformador diferencial. Pero si cualquiera de las fases tiene un contacto a masa, la suma de las corrientes que atraviesan los primarios, deja de ser nula y, por consiguiente, por el secundario del transformador pasará una corriente que accionará el relé diferencial, el cual, a su vez, actuará sobre la bobina de desenganche del disyuntor de protección.

Hay dos tipos de relés diferenciales de protección. El primero, la desconexión del disyuntor se realiza cuando la corriente de fuga alcanza 30 mA y se utilizarán en aquellos casos en que la carcasa o la armazón de la máquina está aislada como los aparatos portátiles.

Otros relés diferenciales de protección actúan cuando la corriente de fuga alcanza un valor más elevado (de 300 a 3,000 mA según los tipos de relés) es necesario controlar las resistencias de las tomas de tierra. En los dos tipos el tiempo máximo para la desconexión del disyuntor ha de ser de 0,1 segundos. Ver figura No.26.

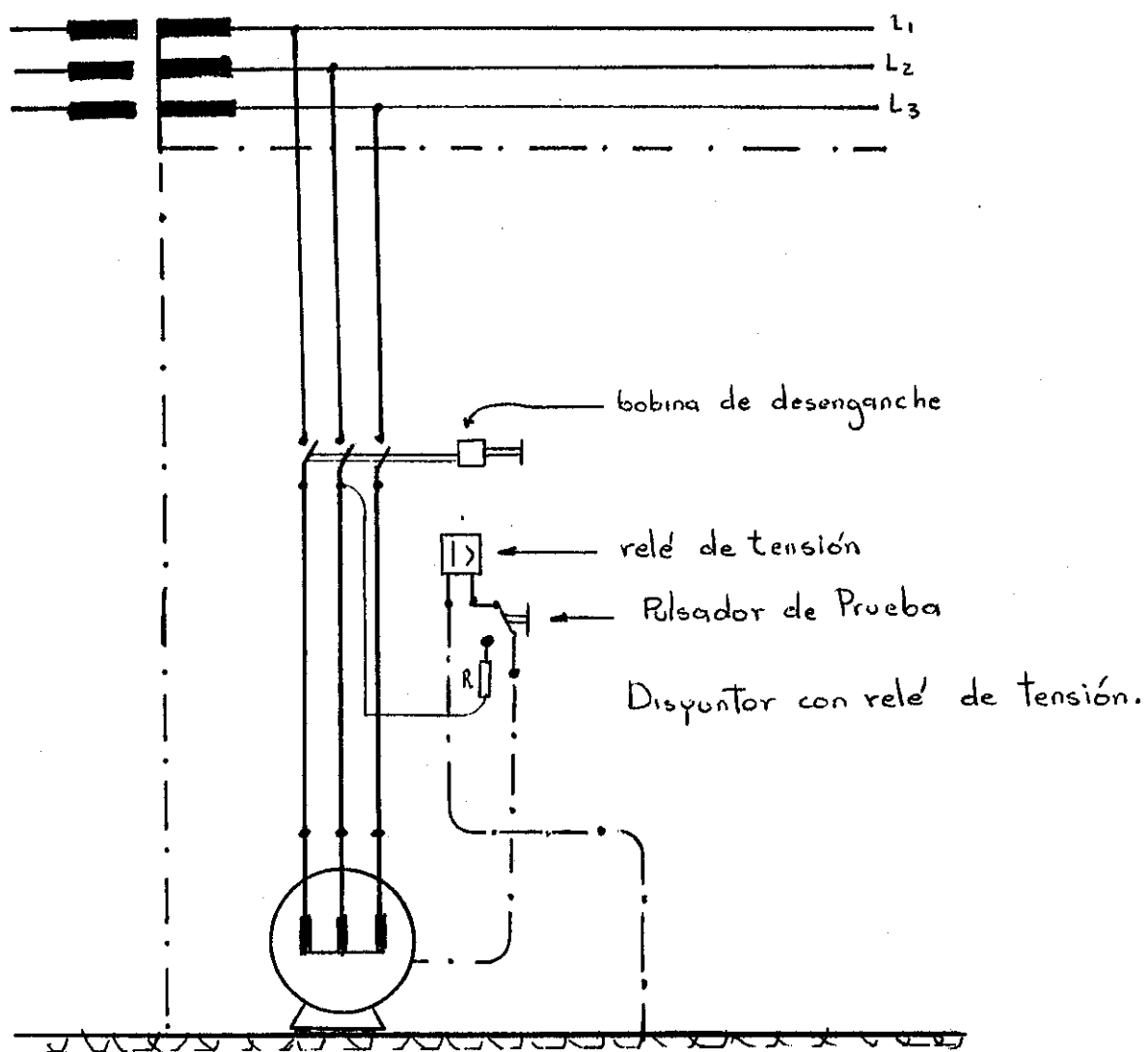


FIGURA No.25
Protección mediante relé de tensión

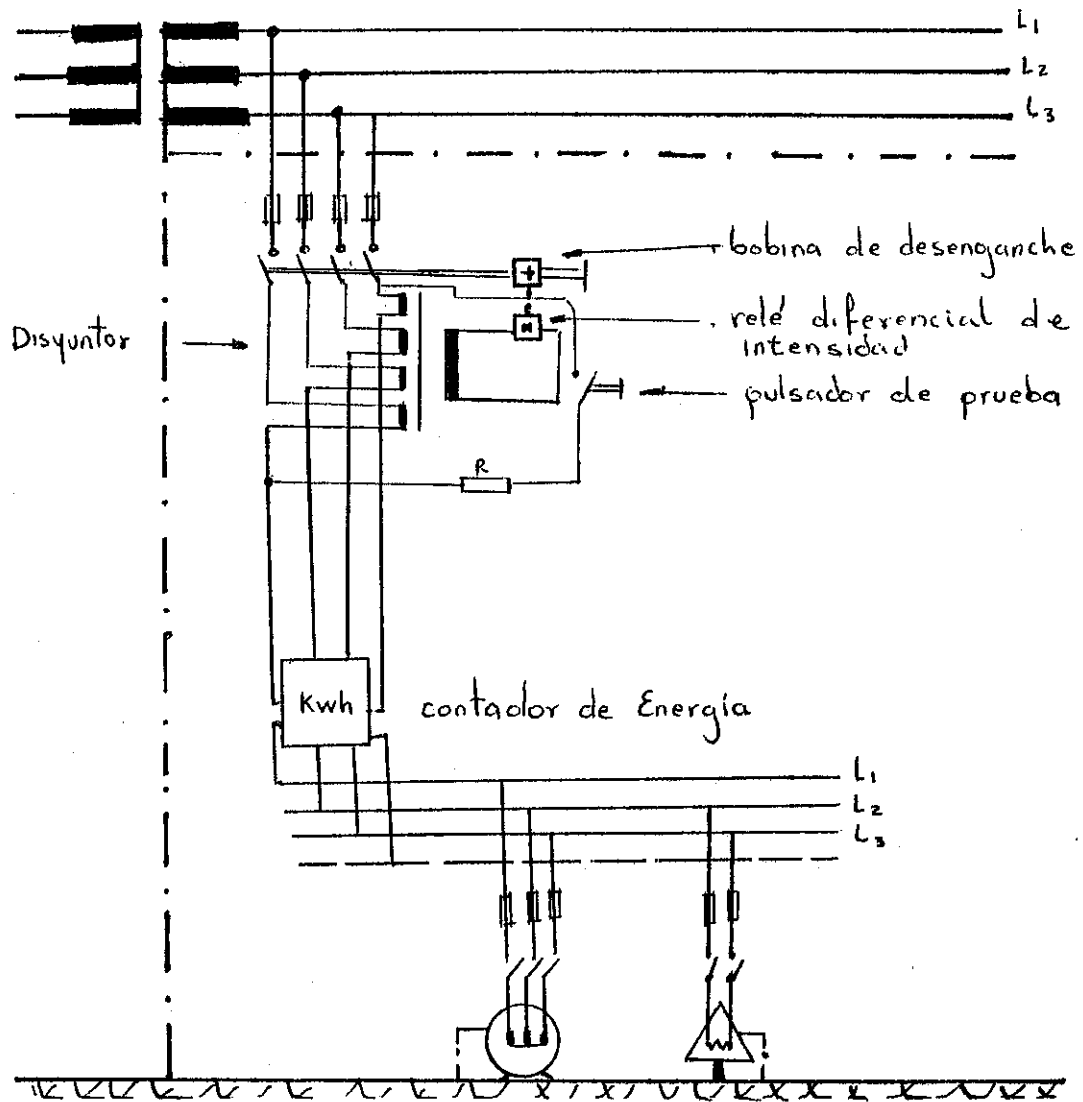


FIGURA No. 26
 Protección mediante relé diferencial de intensidad

CONCLUSIONES

1. En el aterrizaje del equipo es importante la protección del mismo, para ello existen varios dispositivos. Tomando en cuenta la velocidad de desconexión del circuito, evitando así incurrir en grandes y costosas reparaciones, por lo tanto, se debe analizar la protección del sistema dependiendo del coste y el proceso para determinar el más adecuado a utilizar.
2. La colocación de dispersores en el terreno, adecuadamente, a las medidas indicadas, profundidad según las normas, con buenas conexiones harán una resistencia baja en el terreno (2 ohmios deseable y un máximo de 5 ohmios) según las condiciones del mismo.
3. La electricidad estática es factor importante en los procesos industriales, ya que puede afectar la productividad y crear situaciones de peligro, por lo que debe controlarse; en el trabajo de tesis se sugiere que el control es factible por medio de aterrizaje de equipo, ionizadores y un control de la humedad relativa.
4. En las salas de cómputo un aterrizaje del equipo ayudará a su protección; si hay más de un panel, es necesario tener un punto de referencia en que todas las tierras de seguridad del equipo converjan. Así, evitarán problemas de ruido y esto se logrará colocando paneles cerca uno del otro, conectarse con un conductor apropiado y aislando el bus de tierra del marco.

RECOMENDACIONES

1. Estar en constante revisión del equipo para evitar los contactos directos e indirectos.
2. Tomar en cuenta que al usar varios dispersores la resistencia de puesta a tierra disminuye.
3. Conectar los motores a tierra y el equipo de computación para evitar contactos directos y posibles descargas eléctricas al personal.
4. Si se conectan los circuitos a tierra es necesario seleccionar y dimensionar, adecuadamente, la protección, tomando en cuenta su costo, vulnerabilidad y el grado de importancia en el proceso.
5. Se recomienda hacer un análisis del dispositivo aterrizador ya que si es una resistencia debe tomarse en cuenta su magnitud y al utilizar una reactancia también tomar en cuenta la impedancia del generador o transformador.

BIBLIOGRAFIA

DIN-VDE Servicio Alemán de Informaciones Electrotécnicas. Índice de Normas Electrotécnicas Alemanas. Alemania: Comité Electrotécnico Alemán. 1987. 264 pp.

ENRIQUEZ HARPER, Gilberto. Fundamentos de instalaciones eléctricas de mediana y alta tensión. Limusa, Noriega Editores. Capítulo 7. 11pp.

IEEE, Instituto de Electricidad e Ingenieros Electrónicos. Aterrizaje de industrias y comercio en sistemas de potencia. Estados Unidos: Instituto Americano Nacional de Estándares. 1973. 95 pp.

ROBB, Louis A.. Diccionario para Ingenieros. México: Editorial Continental, S.A.. 1993. 664pp.

RUIZ VASSALLO, Francisco. Manual de puestas a tierra de equipos eléctricos. 6a. Edición. Barcelona, España: GERSA, Industria Gráfica. 1991. 166.

SEIP, Gunter G.. Instalaciones eléctricas. 2a. Edición. Berlín, Alemania: SIEMENS. 1989. 1528pp. Tomo III.