



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA



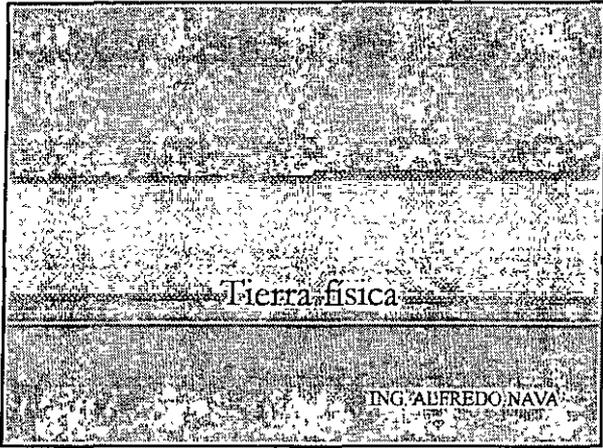
DIPLOMADO
DISEÑO Y CÁLCULO DE
INSTALACIONES ELÉCTRICAS
(RESIDENCIALES, INDUSTRIALES Y
ESPECIALES)

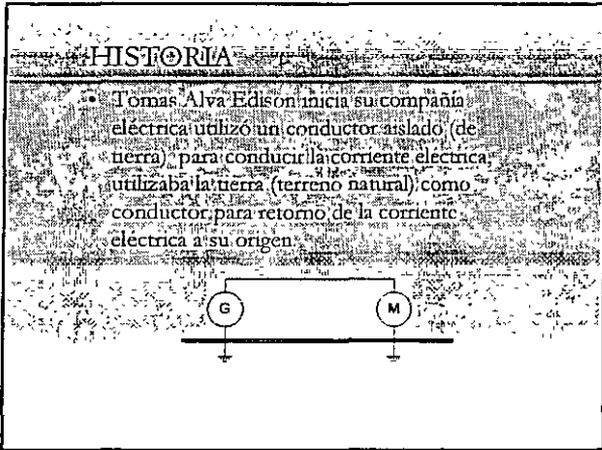
MODULOS C Y D
C. CA411 PUESTAS A TIERRA
D. CA412 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

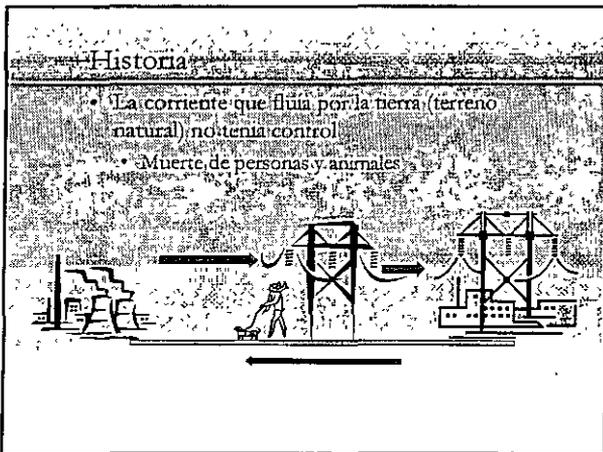
Del 05 al 10 de Noviembre de 2007

EXPOSITOR: ING. ALFREDO NAVA RODRÍGUEZ

SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL







Historia

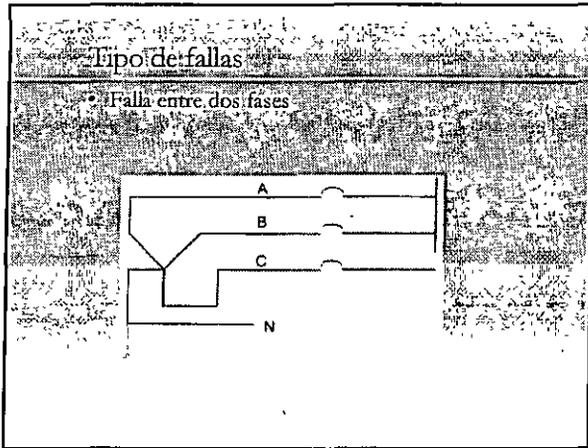
- Tomas Alva Edison modificó el sistema eléctrico a 3 fases

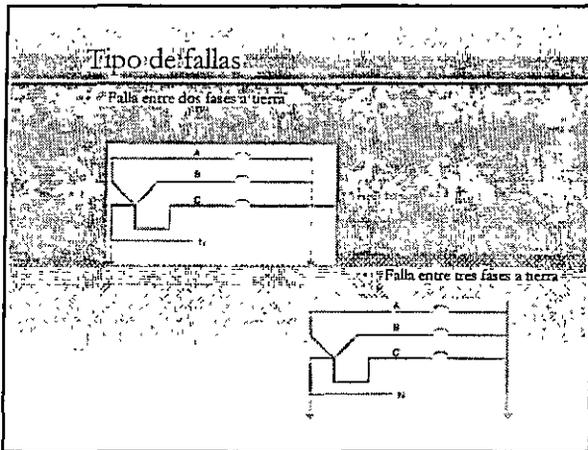
Objetivo

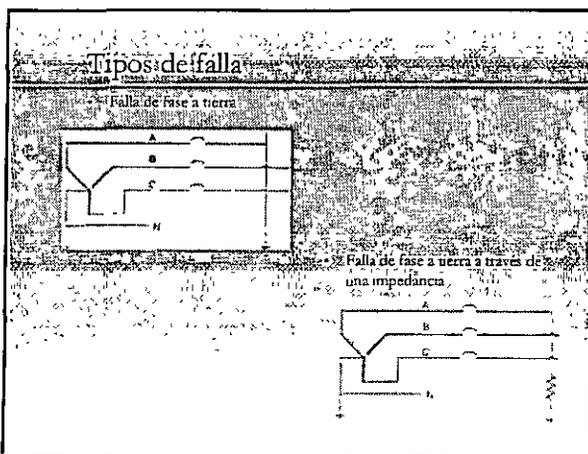
- Estabilizar el voltaje a tierra
- Proveer un camino para que circule la falla a tierra, la cual permitirá que los dispositivos operen para liberar la falla
- El control del voltaje reduce el peligro de las descargas eléctricas en las personas que están en contacto con conductores energizados

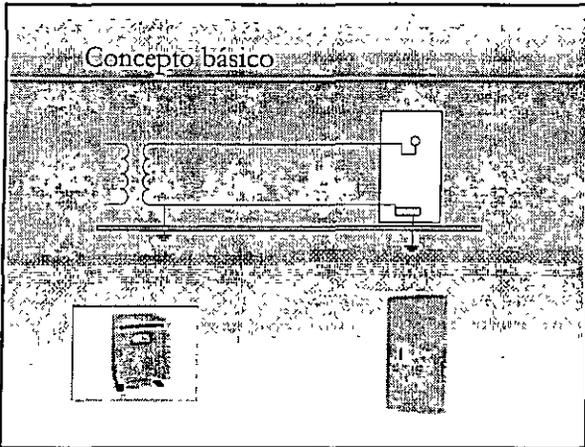
Tipos de fallas

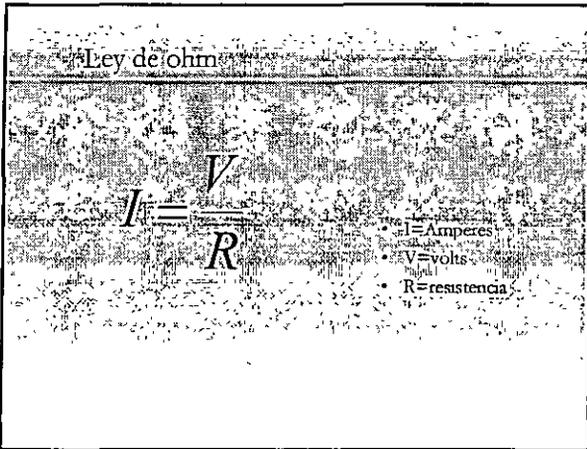
- Falla trifásica

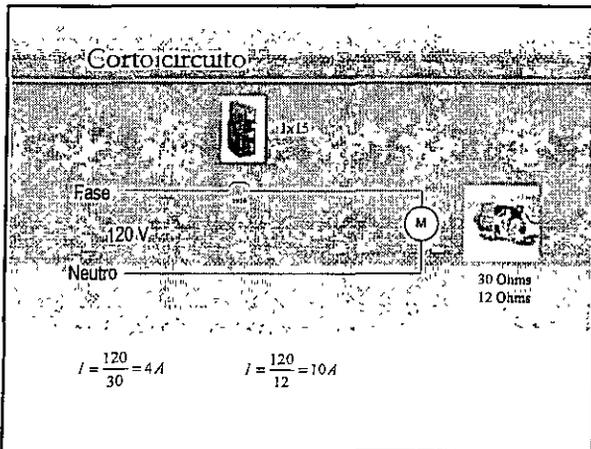


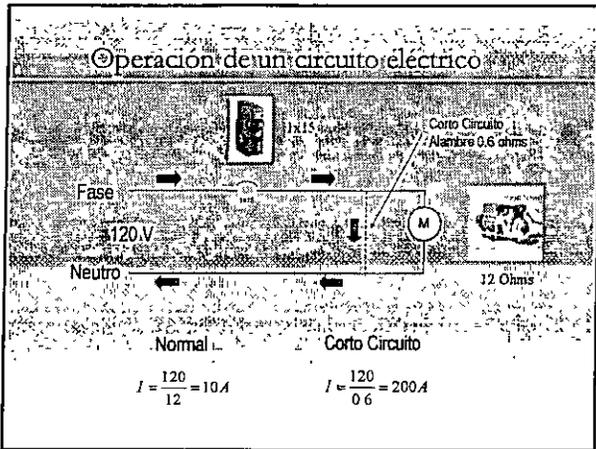


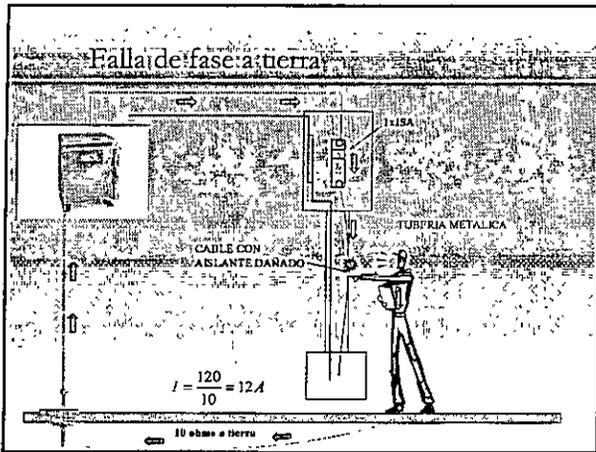


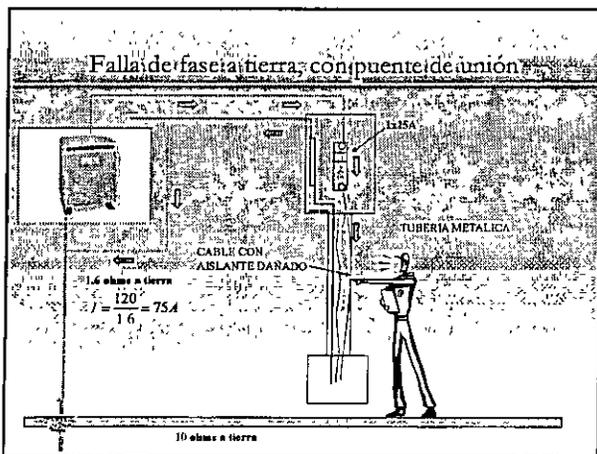


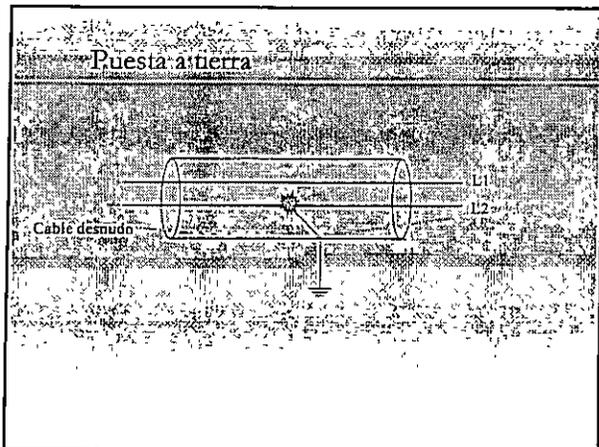


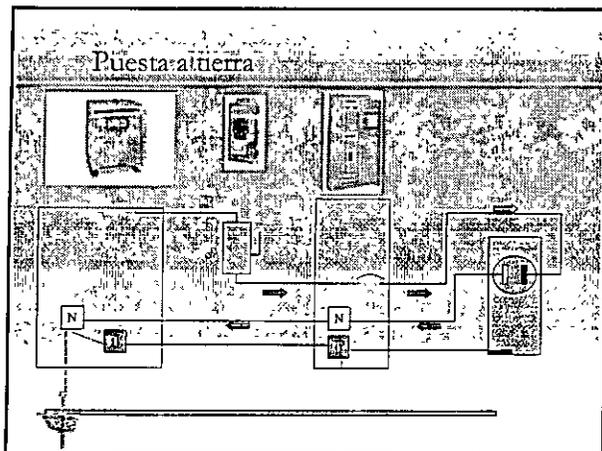












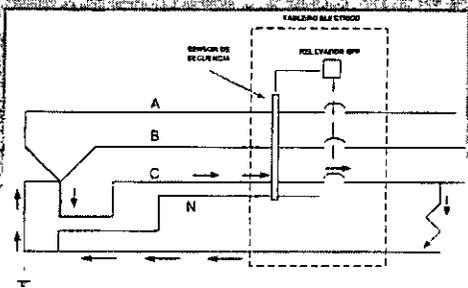
Dispositivos de protección contra falla a tierra

- Los dispositivos de protección contra sobre corriente convencionales, detectan amperes y no distinguen las corrientes de carga de las corrientes de falla a tierra.
- Es necesario dispositivos de detección de falla a tierra el cual observa las corrientes de falla a tierra y manda la señal al dispositivo de protección de sobrecorriente, para que libere la falla eléctrica.

Dispositivos de seguridad

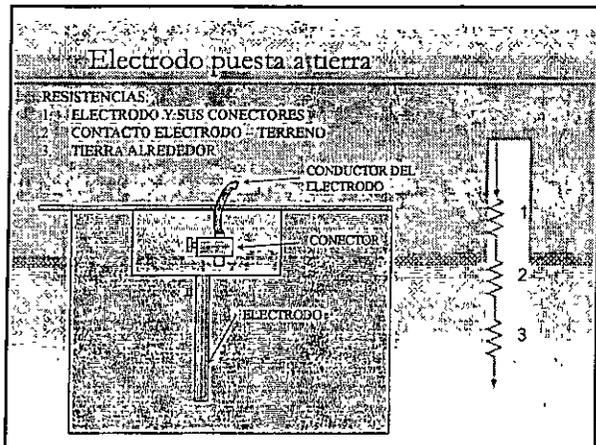
Si la corriente de falla es muy pequeña a la corriente de disparo del dispositivo de protección, el arco eléctrico en el punto de falla producido por la corriente de falla a tierra si no se libera la falla a tierra, puede generar altas temperaturas y daños a equipos, además puede ser el inicio de un incendio.

Dispositivo de protección contra fallas a tierra



Dispositivos GFCI





Electrodo

- El electrodo de puesta a tierra debe estar libre de pintura y grasa y la tierra compactada
- Las partes dañadas (oxidadas) esta parte no será efectiva
- Un electrodo en un terreno con resistividad uniforme, radiara corriente en todas las direcciones
- Las líneas mas cercanas al electrodo de puesta a tierra tienen una superficie mas pequeña y presenta la resistencia mas alta

Electrodo

- La resistencia de la tierra deberá ser mayor que los tres componentes que forman la resistencia de una conexión a tierra
- La resistividad del suelo depende del tipo de terreno, contenido de humedad y de la temperatura

Como instalar un electrodo

Si la resistencia no tiene un valor bajo, existen las siguientes opciones:

1. Utilizar un electrodo de puesta a tierra largo
2. Utilizar electrodos de puesta a tierra múltiples
3. Tratamiento del terreno

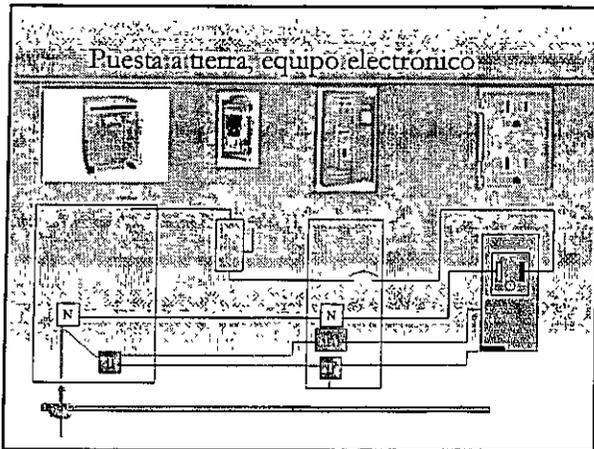
Decremento de la resistencia

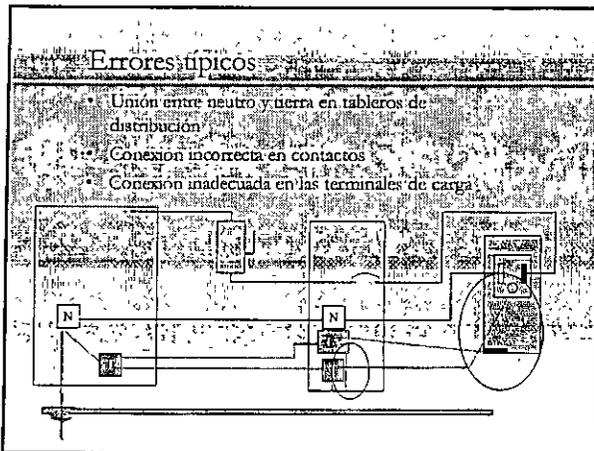
Si se utilizan 2 o mas electrodos de puesta a tierra provocaran caminos paralelos, pero la regla de resistencias en paralelo no se aplica

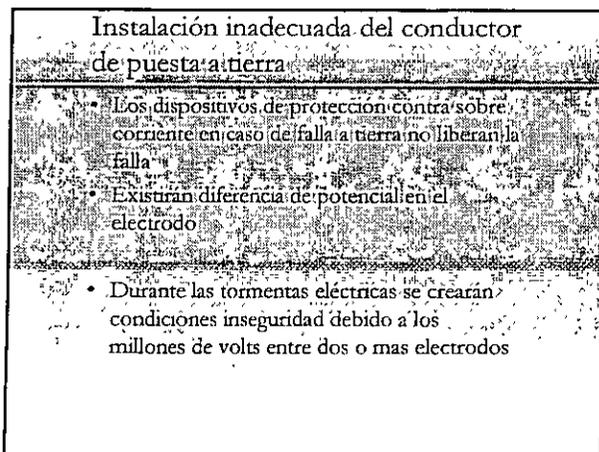
100% 60% 40% 33%

Puesta a tierra equipo electrónico

- Proveer una trayectoria de baja impedancia para que regresen las corrientes de falla
- Funcionamiento rapido de los dispositivos de protección
- Mantener mismo potencial entre partes metálicas
- Control de sobre voltajes







Subsistemas

- a) Protección de personal
- b) Sistemas de tierra de referencia para altas frecuencias
- c) Sistemas de protección contra descargas atmosféricas
- d) Protección de circuitos de señalización de telecomunicaciones y transmisión de datos

Subsistemas

- Sólidamente galvanicamente interconectados

20 - 40 KA

Potencia Electrónica Pararrayos

1 Ω
≈ 20 - 40 KV

Puentes de unión

- Resistencia de contacto
- Materiales diferentes (efecto galvanico, corrosión)
- Generación de interferencia electromagnética
- Efecto piel - las altas frecuencias
- Resistencia del conductor
- Punto de fusión y sobre calentamiento

Tierra de referencia de señal

Es una red externamente de conductores utilizados para interconectar los envolventes metálicos, gabinetes y equipos para el equipo electrónico

- Mejorar la seguridad en la transferencia de señal
- Proveer una trayectoria de baja impedancia para prevenir daño de los circuitos de señal (servidores, computadoras, racks, chasis, etc)
- Prever daño de los equipos cuando pueda ocurrir una falla a tierra

Puesta a tierra en un solo punto

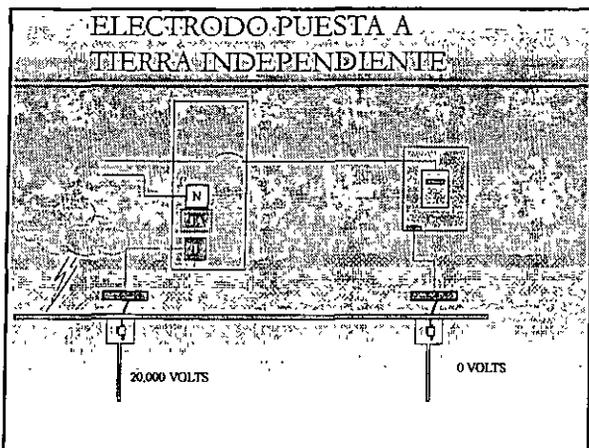
Al utilizar varios puntos de puesta a tierra trae como consecuencia problemas de ruido

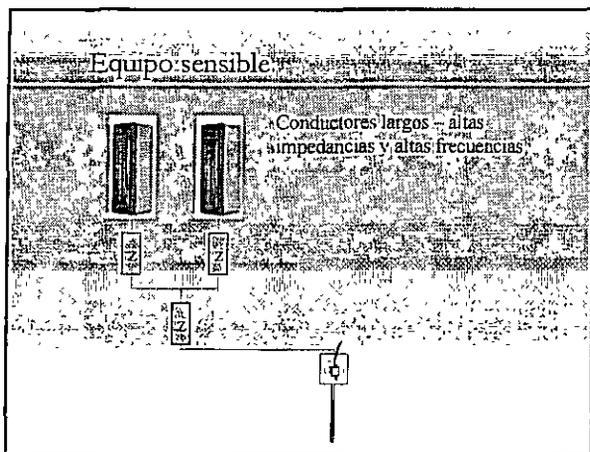
REQUERIDO VALOR MÁXIMO Ω SUPLEMENTARIO PERMITIDO

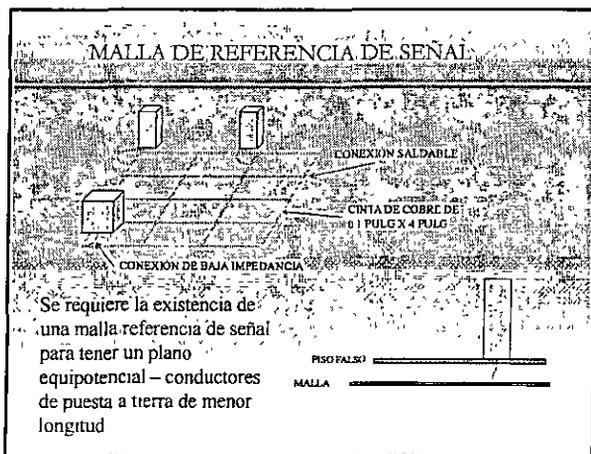
ELECTRODO PUESTA A TIERRA INDEPENDIENTE

FALLA DE TIPO A TIERRA

IMPEDANCIA







Equipos sensible:

- Los componentes de la onda de alta frecuencia requieren trayectorias de retorno de baja impedancia, de lo contrario, con impedancias altas, se pueden presentar potenciales altos.

Plano equipotencial

VENTAJAS

- Trayectoria de baja impedancia para las corrientes de ruido de radio frecuencias.
- Contener el ruido electromagnético entre su fuente y el plano.
- Incrementar el filtrado efectivo de los campos electromagnéticos.
- Proteger a los circuitos adyacentes y al equipo.

Configuración de puesta a tierra de alta frecuencia

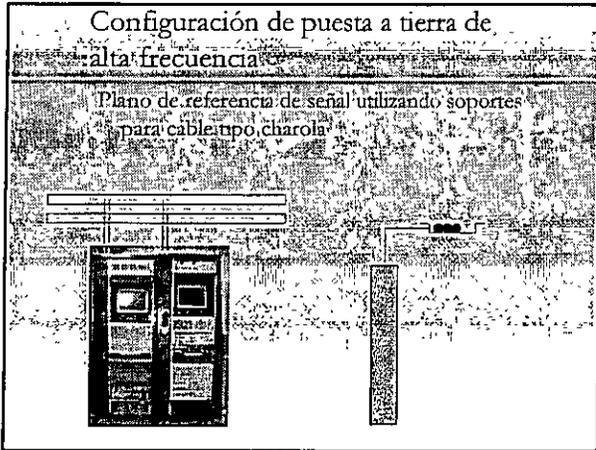
Plano de referencia de señal utilizando piso galvanizado

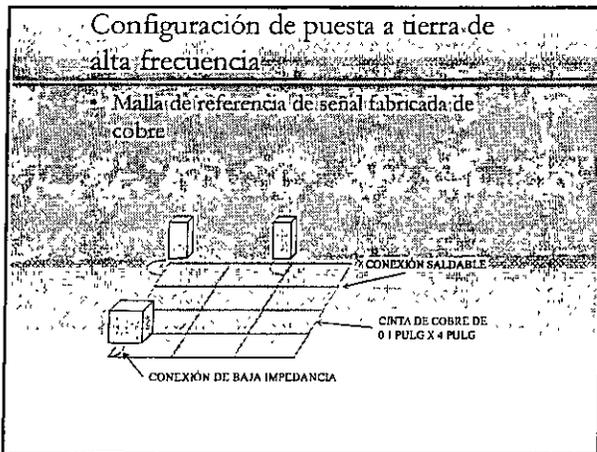


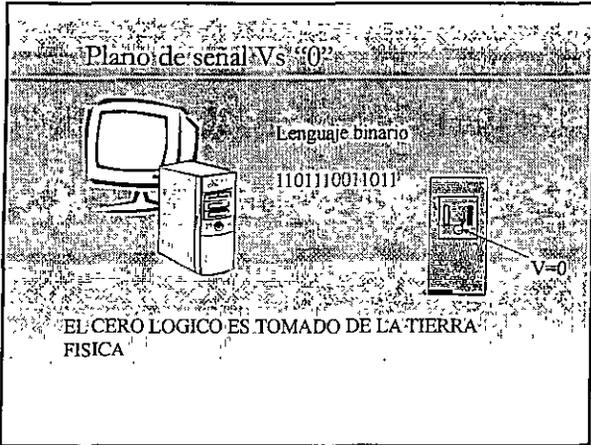
Conexiones en la parte interior del gabinete

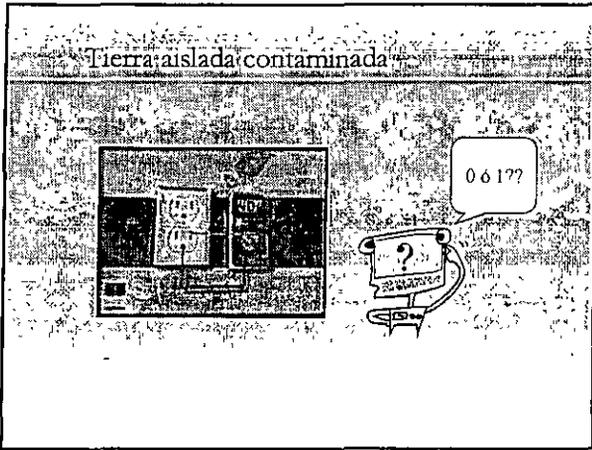
PUENTES < 0.5 m

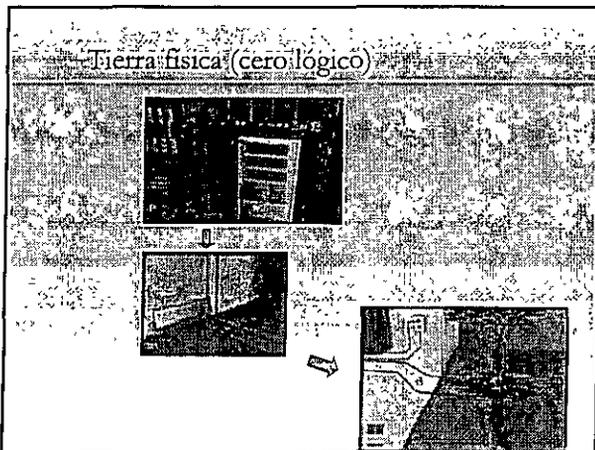












Subestaciones eléctricas

- Finalidad

1. Transportar las corrientes eléctricas dentro de la tierra (terreno natural) bajo condiciones normales y de falla, sin exceder los límites de operación.
2. Asegurar que las personas no estén expuestas a peligros por descargas.

Subestaciones eléctricas

- Se asume que cualquier objeto puesto a tierra puede tocarse sin sufrir daño alguno.
- Si el sistema de puesta a tierra de una subestación eléctrica tiene una resistencia baja, no garantiza que sea segura.
- Cuando la corriente de falla de fase a tierra entra a la tierra, causará que se presente potencial de paso a tierra elevados.

Subestaciones eléctricas

- Los efectos de la corriente eléctrica a través del cuerpo humano dependen de:
 - Duración
 - Magnitud
 - Frecuencia

Los dispositivos de protección contra sobre corriente liberen la falla lo más rápido posible.

Circuitos equivalentes accidentales

CONSIDERACIONES

- La resistencia de contacto de mano a pino = 0Ω
- La resistencia zapato y guante = 0Ω

I_b = Corriente que circula
 I_B = Corriente tolerable
 $I_b = I_B$

MALLA DE PUESTA A TIERRA

Subestaciones eléctricas

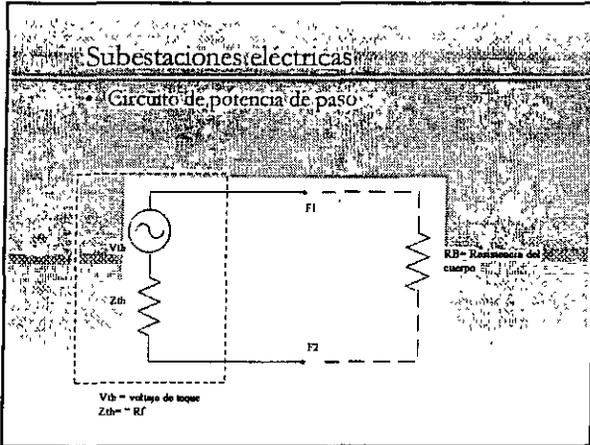
$H \gg F = I_b$

Subestaciones eléctricas

Voltaje de Thevenin V_{th} = Voltaje entre H y F cuando la persona no está presente

R_B = Resistencia del cuerpo

V_{th} = voltaje de toque



Subestaciones eléctricas

El voltaje de paso está dado por

$$Z_b = 2R_f$$

R_f = resistencia de un pie en Ohms

La impedancia equivalente para un circuito de voltaje de paso

$$Z_b = 6.0 \Omega$$

El voltaje de paso total permisible tolerable

$$E_{\text{paso}} = I_b (R_b \times 6.0 \Omega)$$

Resistividad del suelo

CONSIDERACIONES

- La resistividad varía de acuerdo a la época del año
- Temperatura
 - mayor temperatura < resistividad
- La humedad. El agua pura tiene una resistividad infinita; la sal disuelta baja la resistividad

Resistividad del suelo:

• Método de Wenner, o de los cuatro puntos

$\rho = 2\pi AR$ A - distancia, R - lectura

Resistividad del terreno:

• Método Schlumberger - Palmer

$\rho = \frac{\pi c(c+d)R}{d}$ R - Lectura del aparato

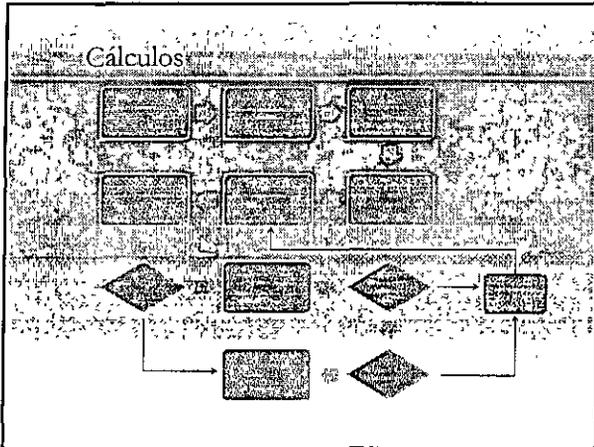
Resistividad del suelo:

• Las mediciones deberán realizarse en varios puntos del terreno con diferentes espaciamientos de los electrodos de prueba.

DATOS MAS EXACTOS CUANDO EL TERRENO ESTA LIMPIO

Resistividad del suelo

$$\rho = \frac{\rho_1 + \rho_2 + \rho_3 + \dots + \rho_n}{n}$$



CONCEPTOS BÁSICOS
MANTENIMIENTO

DEFINICION.

- **MANTENIMIENTO:** Es el conjunto de actividades para tener los bienes físicos (bif).

Promueve el funcionamiento con la mejor fiabilidad a lo largo de la vida económica de los bienes.



ECONOMIA

- Debe considerarse lo siguiente:
- Eficiencia
- Eficacia
- Efectividad

BARATO Y ECONOMICO

- Barato se refiere al costo o precio directo de un bien o una tarea, en el momento de su compra o durante el tiempo que se efectúa la tarea.
- Barato es algo puntual, a diferencia de económico que se refiere a los costos totales a lo largo de la vida del bif; integrados los de adquisición, instalación, operación, mantenimiento, disposición final y conexos.

• El mantenimiento cuesta



• Un Pobre mantenimiento cuesta mas



CALIDAD



CUAL TIENE MAYOR CALIDAD?



CALIDAD

• La satisfacción del cliente

CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO

El mantenimiento debe atender, en primera instancia, en forma simbólica, coordinada, constructiva, igualitaria y fraternal, las necesidades de producción.

CALIDAD EN EL MANTENIMIENTO

Sin mantenimiento adecuado es imposible lograr calidad; el buen mantenimiento es razón necesaria, pero no suficiente para lograrla.

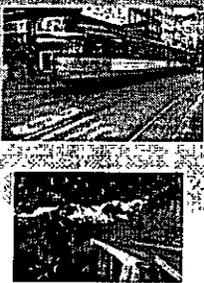
CONSERVACION

Conservación: Actividad de restaurar y otras para procurar el mínimo deterioro de bienes, principalmente del patrimonio cultural nacional.



CONSERVACION

En empresas con fines de lucro, la conservación de filosofía es aplicable a bienes físicos y de la naturaleza en los que se requiere que su estado no merme por un largo lapso



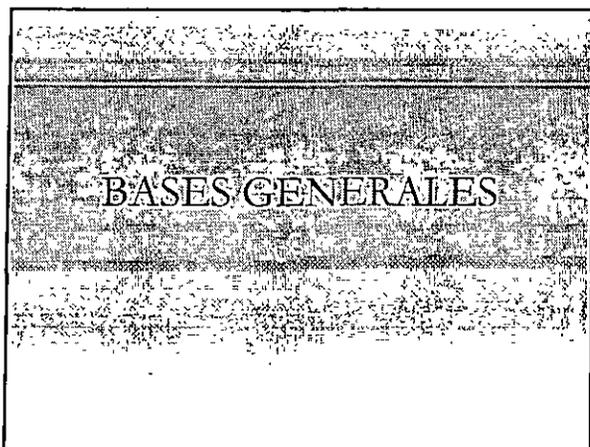
MANTENIMIENTO

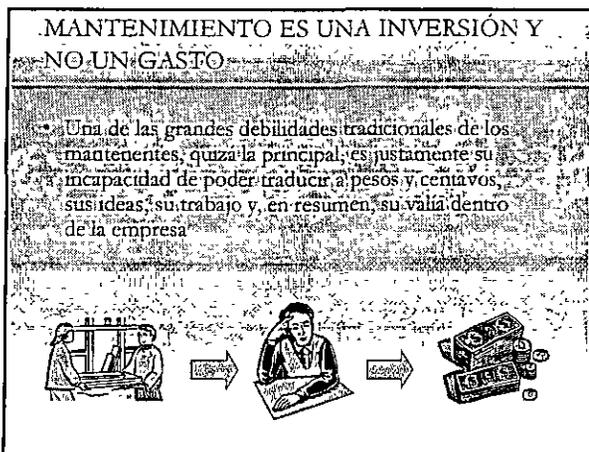
Procura la mejor fiabilidad y disponibilidad económica, considerando que estas pueden y deben mermar a lo largo de su vida

CONSERVACION Vs MANTENIMIENTO

La cutanasa programada es la regla









MANTENIMIENTO CORRECTIVO

- Es la eliminación o minimización de los efectos de las condiciones indeseadas a medida que estas se presentan.
- Los costos de corrección siempre son mucho mayores que los de la adecuada prevención.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO Mc

Implantación

- Fácil
- Barata

Actividades

- Reparación
- Reemplazo

Resultado

- Caro
- Complicado
- Riesgoso

MANTENIMIENTO PREVENTIVO Mp

- Agrupa a casi todos los tipos y subtipos de mantenimiento en los que se toman acciones para que las condiciones objetables por costo, funcionamiento, riesgos, fiabilidad, etc. de los bienes no lleguen más allá de lo debido.

MANTENIMIENTO PREVENTIVO (Mp)

- Mejora (Mm)
- Mayor (My)
- Paro (Mh)
- Inversión (Mi)

MANTENIMIENTO RUTINARIO (Mr)

- Es el mas comun
- En países en desarrollo frecuentemente se incluye en Mr los trabajos de limpieza de apariencia y aseo
- La tendencia es separar del Mantenimiento las tareas de servicio que sean básicamente de seguridad e higiene, aseo de apariencia

MANTENIMIENTO RUTINARIO (Mr)

- La limpieza operacional esta incluida en mantenimiento

Ejemplo:
El aseo de areas altamente peligrosas, areas restringidas

MANTENIMIENTO RUTINARIO (Mr)

Tareas importantes:

- Secado
- Ajuste y
- Limpieza

(SAL)

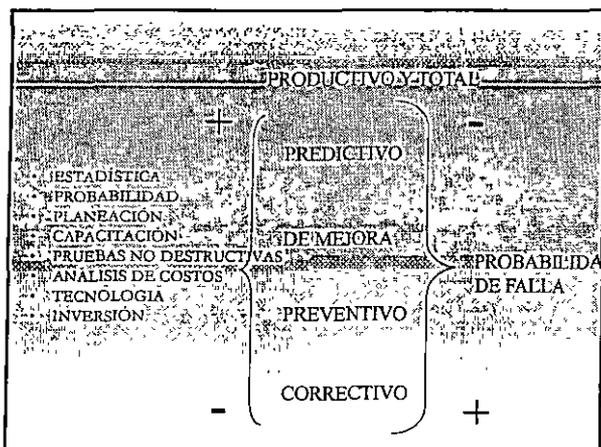
MANTENIMIENTO RUTINARIO (Mr)

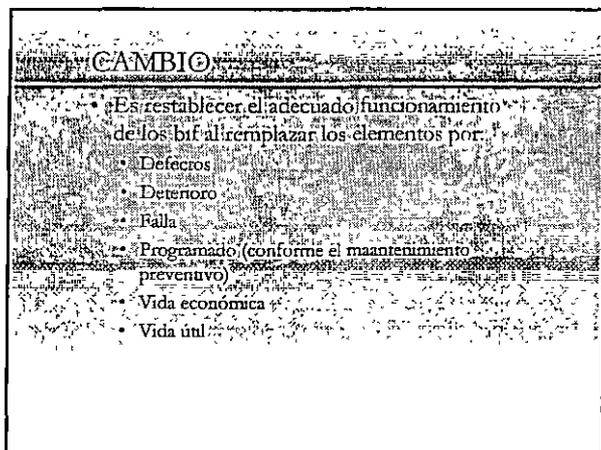
- Ajuste
- Apretar
- Calibración
- Carga de fluidos
- Control de plagas y roedores
- Desinfección
- Lubricación
- Limpieza
- Pintura
- Protección contra la corrosión
- Recubrimiento
- Secado

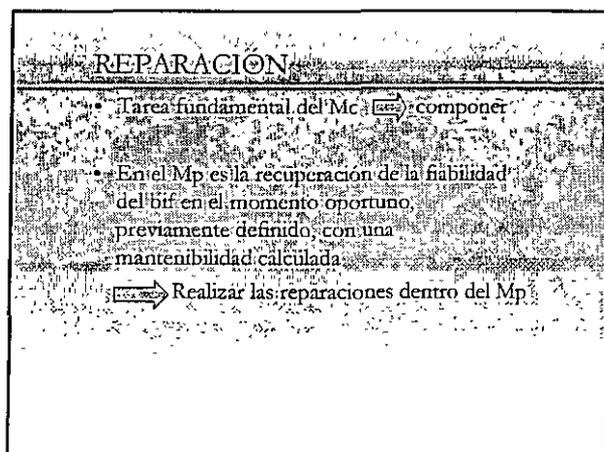
objetivos: apariencia, higrante, funcionamiento y seguridad

TAREAS DEL MANTENIMIENTO

FUNCIÓNES	TAREAS	INGENIERÍA	ADMINISTRACIÓN
RUTINARIO (Mr)	SERVICIO		DIRECCION ORGANIZACION
CORRECTIVO (Mc)	CAMBIO REPARACION		
PREVENTIVO (Mp)	INSPECCION MODIFICACION	INGENIERIA DISEÑO	PLANTACION PROGRAMACION CONTROL







REPARACION MENOR

- Se tiende absurdamente a efectuarlas como temporales y no definitivas, asignarlas a mantenimientos incompetentes y minimizar su trascendencia

**BAJA DISPONIBILIDAD DEL BIF
SON CAUSA DE FALLAS MAYORES
PELIGROSAS Y DE ALTO RIESGO**

**SE CORRE EL RIESGO DE
NO CUANTIFICAR Y CALIFICAR**

GENERAN SISTEMAS COSTOSOS Y LENTOS

REPARACION MAYOR

Se destaca la importancia de ingeniería

- **Rehabilitación** (reconstrucción parcial)
- **Reconstrucción:** tiende a restablecer, a un nivel predeterminado las funciones de un bif al término de su vida útil nominal.
- **Reacondicionamiento:** adecuar los bif a nuevos usos
- **Reconversión:** incorporación de avances tecnológicos, uniformidad, estandarización y condiciones del mercado
- **Remanufactura:** reconstrucción integral con garantía del bif nuevo

RESTAURACION

- Restablecer el funcionamiento del bif, conservando el diseño original e incluso, en ocasiones, materiales y tecnología

ANÁLISIS DE FALLAS

MANTENIMIENTO **OPTIMIZADO** → MINIMIZAR EL NÚMERO y TRASCENDENCIA DE FALLA

- CAUSAS Y ORIGEN
- FORMA DE SOLUCIONAR
- FRECUENCIA PROBABLE
- VARIACIONES Y DESVIACIONES
- CLASIFICACIÓN DE FALLA
- SEVERIDAD INTRASCENDENTE
 - MENOR
 - MAYOR
 - CRÍTICA
 - SEGURIDAD

FALLA EN EL SISTEMA

Se puede clasificar con base a sus efectos en el funcionamiento del sistema

Serie: La falla de uno de sus sistemas determina la falla del sistema completo

FALLA EN EL SISTEMA

Paralelo: Representa un incremento de fiabilidad en la operación, representa un mayor trabajo, pero sin presiones de tiempo; representa una mayor inversión

FALLA EN EL SISTEMA

Paralelo:

- Reserva: bif con características similares
- Respaldo: son diferentes y de menor importancia permitiendo la degradación del sistema
- Redundancia: Cubrir las necesidades con otros de iguales características y parámetros de funcionamiento donde entra en operación en forma automática

FIABILIDAD

VIDA DE UN BIEN FÍSICO

VIDA INFANTIL

- Lapsos de asentamiento al inicio de las operaciones

ALTA PROBABILIDAD DE FALLA

DEFECTOS DE CALIDAD

DISEÑO MONTAJE

FABRICACIÓN MATERIALES

VIDA DE UN BIEN FÍSICO

VIDA ÚTIL

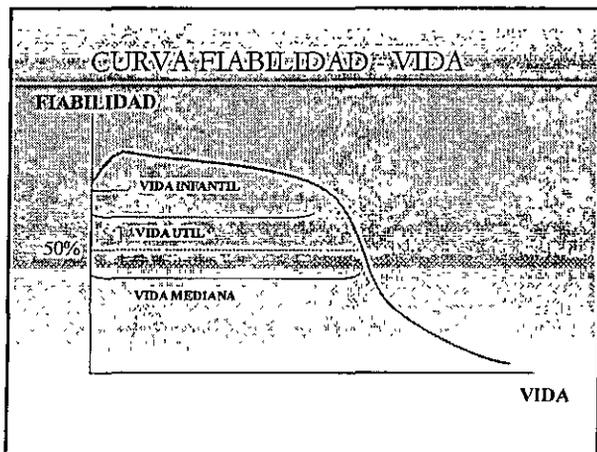
• Período en el cual se tiene técnicamente una adecuada operación

VIDA DE UN BIEN FÍSICO

VIDA ECONÓMICA

• Período en el cual es costeable operar un bien



FIABILIDAD

Es la probabilidad de que un bífijuncione: adecuadamente conservando sus niveles de calidad o servicio y las condiciones esperadas (disponibilidad, continuidad, eficiencia, rendimiento, seguridad, etc.) y condiciones para las cuales fue diseñado.

FIABILIDAD

FIABILIDAD

DETALLE

VIDA

FIABILIDAD

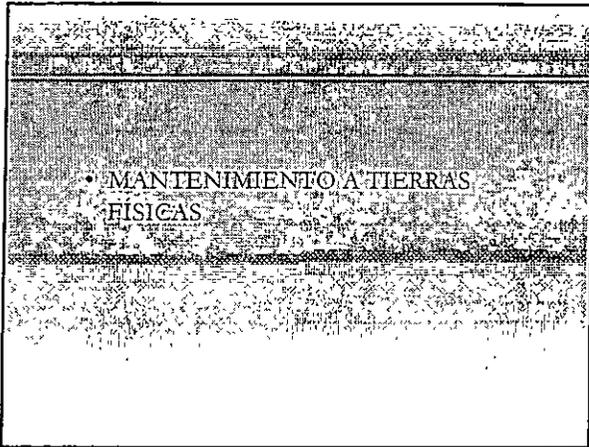
FIABILIDAD

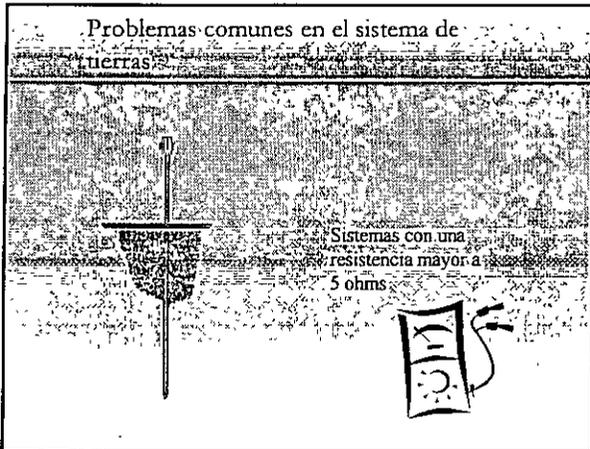
FIABILIDAD RESTITUIDA

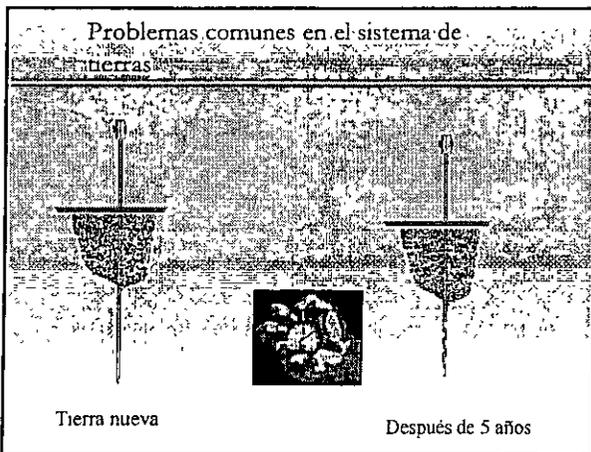
CICLO DE MANTENIMIENTO

TIEMPO DE MANTENIMIENTO

VIDA







Mantenimiento:

- Prueba de resistencia con el terreno, 2 veces al año ($\Omega < 20$ puesta a tierra, $\Omega < 10$ pararrayos)
- Si es menor aplicar acondicionado
- Sustituir empalmes por soldadura
- Sustituir electrodos por materiales mas resistentes a la corrosion
- Prueba de resistencia entre elementos; ($\Omega < 10$)

Problemas comunes en el sistema de tierras

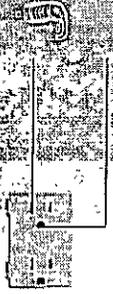
- Trabajos momentaneos o permanentes conectando el neutro en tierra



Problemas comunes en el sistema de tierras

- Contactos polarizados
- Cambiados
- Neutro con Tierra

Conectamos cargas entre La fase y la tierra



2. Medida de la resistividad eléctrica del subsuelo

Las medidas de resistividad eléctrica del subsuelo son habituales en las prospecciones geofísicas. Su finalidad es detectar y localizar cuerpos y estructuras geológicas basándose en su contraste resistivo. El método consiste en la inyección de corriente continua o de baja frecuencia en el terreno mediante un par de electrodos y la determinación, mediante otro par de electrodos, de la diferencia de potencial. La magnitud de esta medida depende, entre otras variables, de la distribución de resistividades de las estructuras del subsuelo, de las distancias entre los electrodos y de la corriente inyectada.

Este capítulo consta de 6 apartados. El apartado 2.1 revisa el concepto de resistividad eléctrica y muestra las resistividades típicas de algunos suelos. El apartado 2.2 describe cómo se realiza la medida de resistividad con el método resistivo. El apartado 2.3 describe los dispositivos tetraelectródicos básicos. El apartado 2.4 describe los tipos de prospecciones normalmente realizadas con el método resistivo. El apartado 2.5 muestra el sistema de medida automático PROGEO (Alberto, 1997), que será descrito con más detalle en el capítulo 4, y describe las configuraciones multielectródicas propuestas para realizar las medidas. Por último el apartado 2.6 resume el capítulo.

2.1. Resistividad eléctrica de suelos

La resistividad eléctrica ρ de un material describe la dificultad que encuentra la corriente a su paso por él. De igual manera se puede definir la conductividad σ como la facilidad que encuentra la corriente eléctrica al atravesar el material. La resistencia eléctrica que presenta un conductor homogéneo viene determinada por la resistividad del material que lo constituye y la geometría del conductor. Para un conductor rectilíneo y homogéneo de sección s y longitud l la resistencia eléctrica es

$$R = \frac{l}{s} \quad (2.1)$$

A partir de esta ecuación podemos despejar la resistividad

$$\rho = \frac{R \cdot s}{l} \quad (2.2)$$

La unidad de resistividad en el Sistema Internacional es el ohm por metro ($\Omega \cdot m$). La conductividad se define como el inverso de la resistividad

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.3)$$

La unidad de conductividad en el Sistema Internacional es el siemens (S). La resistividad es una de las magnitudes físicas con mayor amplitud de variación para diversos materiales. Además, su valor depende de diversos factores como la temperatura, humedad o presión.

Estrictamente hablando todos los cuerpos son eléctricamente conductores dado que permiten, en mayor o menor medida, el paso de portadores de cargas eléctricas. Estos portadores pueden ser electrones o iones, hecho que permite distinguir entre dos tipos de conductividad: electrónica e iónica. Los cuerpos con conductividad electrónica se clasifican en metales y semiconductores. Los cuerpos con conductividad iónica se conocen como electrolitos si no presentan forma gaseosa.

El mecanismo de la conductividad de los metales puede imaginarse como debido a que los electrones de valencia de sus átomos pueden moverse libremente entre la red cristalina que éstos forman, sin vinculación a ninguno determinado. La facilidad de movimiento de los electrones y su gran número redundan en una conductividad muy elevada. Su resistencia aumenta con la temperatura y con el contenido de impurezas. La resistividad de los metales a temperatura normal varía entre 10^{-8} y 10^{-7} Ωm . Son pocos y muy escasos los componentes de la corteza terrestre que posean conductividad metálica. Entre ellos se cuentan los metales nativos (oro, plata, cobre, estaño) y quizá algún mineral poco abundante como la ullmanita (NiSbS).

Los minerales semiconductores son muchos y de gran importancia práctica. Su resistividad depende de su contenido en impurezas, a veces en grado extremo. Además su conductividad aumenta con la temperatura. Por ello, no cabe esperar que la resistividad de una especie mineralógica determinada pueda representarse por un dato único, sino que puede variar dentro de límites amplios. En general los telururos y los arseniuros son conductores muy buenos. Los sulfuros suelen entrar también entre los conductores buenos, con excepciones como la blenda y el cinabrio. Los óxidos, y los compuestos de antimonio suelen ser malos conductores, con la excepción de la magnetita. Ahora bien, estos minerales no suelen aparecer en la naturaleza de forma individual, sino en asociaciones, y junto con una ganga frecuentemente aislante (cuarzo, calcita, etc.), por lo que la resistividad conjunta del filón puede variar mucho de unos casos a otros.

En los cuerpos dieléctricos o aisladores, los electrones están fuertemente ligados a l Esto puede deberse a que existan enlaces covalentes o iónicos. En este último caso la red cristalina forma un electrólito sólido. La mayoría de los minerales pertenecen a este grupo. A temperaturas normales las resistividades son muy altas, generalmente superiores a 10^7 Ωm . Son minerales dieléctricos el azufre, la blenda, la calcita, el cinabrio, el cuarzo, las micas y el petróleo entre otros. Entre estos minerales, además, figuran los más importantes constituyentes de las rocas, las cuales se comportarían como aisladoras si no fuera por la presencia de electrolitos.

El agua pura es muy poco conductora a causa de su muy reducida disociación. La resistividad del agua destilada es de unos $10^5 \Omega\text{m}$ por lo que puede considerarse como aislante. Las aguas que se encuentran en la naturaleza presentan, sin embargo, conductividad apreciable, pues siempre tienen disuelta alguna sal, generalmente NaCl. Así las aguas de lagos y arroyos de alta montaña varían entre $10^3 \Omega\text{m}$ y $3 \times 10^3 \Omega\text{m}$, las aguas subterráneas tienen resistividades de 1 a $20 \Omega\text{m}$, y las aguas marinas tienen una resistividad de unos $0,2 \Omega\text{m}$.

Si la resistividad de las rocas dependiese únicamente de los minerales constituyentes, habrían de considerarse como aislantes en la inmensa mayoría de los casos, puesto que el cuarzo, los silicatos, la calcita, las sales, etc., lo son prácticamente. Sólo en el caso de que la roca contuviese minerales semiconductores en cantidad apreciable, podría considerarse como conductora, es decir, sólo lo serían las menas metálicas. Afortunadamente, todas las rocas tienen poros en proporción mayor o menor, los cuales suelen estar ocupados total o parcialmente por electrolitos, de lo que resulta que, en conjunto, las rocas se comportan como conductores iónicos, de resistividad muy variable según los casos. La resistividad de las rocas puede variar en margen amplísimo en función del contenido en agua, de la salinidad de ésta y del modo de distribución de los poros. La Figura 2.1 presenta un gráfico de los márgenes de variación más comunes en algunas rocas y minerales. La fisuración, impregnación en agua salada, etc., pueden extender estos límites.

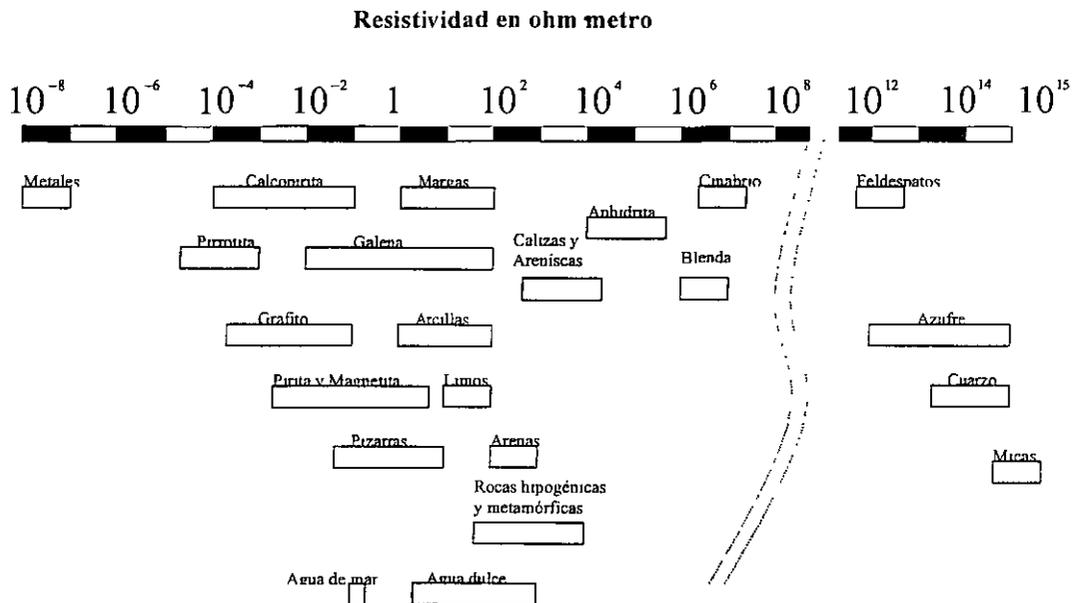


Figura 2.1. Valores de resistividad de diferentes rocas y minerales (Orellana, 1982)

La resistividad de las rocas también depende de la temperatura a la que se encuentre ya que la temperatura influye notablemente en la resistividad de los fluidos que hay en los poros. En concreto, un descenso de la temperatura provoca un aumento de la resistividad y en el punto de congelación el

agua pasa a ser un dieléctrico mal conductor. Por último, cabe mencionar que la resistividad de algunos minerales, y como consecuencia de las rocas que estos forman, varía según la dirección de medida que se toma, es decir, que presentan *anisotropía*. La formación de estratos puede producir anisotropía. Tal es el caso de las rocas sedimentarias. En general este efecto será débil dada la aleatoriedad de las orientaciones de los minerales en la roca.

El suelo es una mezcla de rocas, gases, agua y otros materiales orgánicos e inorgánicos. Esta mezcla hace que la resistividad del suelo aparte de depender de su composición intrínseca, dependa de otros factores externos como la temperatura, la humedad, presión, etc. que pueden provocar que un mismo suelo presente resistividades diferentes con el tiempo. De entre todos los factores, la humedad es el más importante; además, es el que se puede alterar más fácilmente mediante la lluvia o el riego del suelo. Diferentes grados de humedad para un mismo terreno darían lugar a resistividades diferentes que podrían llevarnos a interpretaciones erróneas de los materiales constituyentes del suelo.

Una limitación del método resistivo es su alta sensibilidad a pequeñas variaciones de la conductividad cerca de la superficie, debido por ejemplo al contenido de humedad. Hablando en términos electrónicos, el nivel de ruido es alto. Una topografía accidentada puede tener un efecto similar, ya que el flujo de corriente se concentra en los valles y se dispersa en las colinas. Como resultado se distorsionan las superficies equipotenciales produciendo falsas anomalías debido solo a

El objetivo de este trabajo no es, sin embargo, dar una interpretación de los materiales constituyentes a partir de las resistividades aparentes medidas, sino obtener imágenes tridimensionales de la distribución de la resistividad eléctrica del subsuelo. El proceso de interpretación desde un punto de vista geológico habría de ser realizado por geólogos o geofísicos.

2.2. Medida de la resistividad eléctrica

La Figura 2.2 muestra el principio de medida de la resistividad del suelo: se inyecta una corriente I entre el par de electrodos AB y se mide la tensión ΔV entre el par de electrodos MN. Si el medio es homogéneo de resistividad ρ , la diferencia de tensión es (Orellana, 1982)

$$\Delta V = \frac{I}{2} \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right) \quad (2.4)$$

donde AM, AN, BM, BN son las distancias entre electrodos. La resistividad viene dada por la expresión

$$= g \frac{\Delta V}{I} \quad (2.5)$$

donde

$$g = 2 \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (2.6)$$

es un factor geométrico que depende exclusivamente de la disposición de los electrodos. De hecho, (2.5) es equivalente a (2.2) pero con un factor geométrico diferente

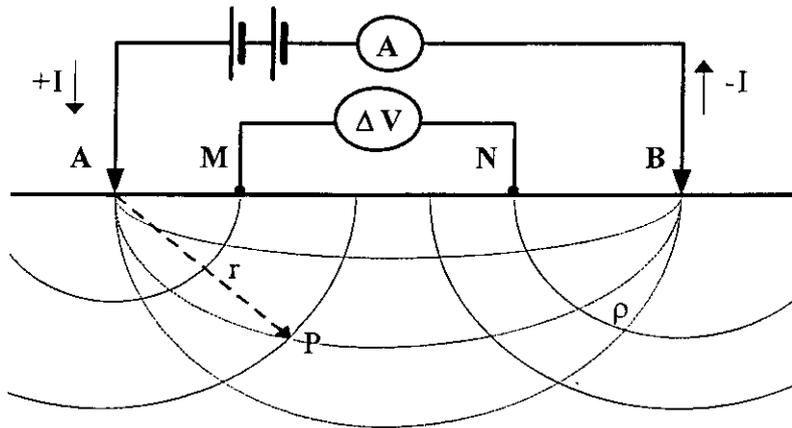


Figura 2.2. Dispositivo tetraelectródico para la medida de la resistividad del suelo

Dos dispositivos tetraelectródicos lineales (los cuatro electrodos están en línea) en los que intercambiamos los electrodos de inyección y detección presentan unos coeficientes de dispositivo

$$g_1 = 2 \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} + \frac{1}{BN} \right)^{-1} \quad (2.7)$$

$$g_2 = 2 \left(\frac{1}{MA} - \frac{1}{MB} - \frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right)^{-1} \quad (2.8)$$

Dado que las distancias cumplen $AM=MA$, $AN=NA$, etc., se obtiene que $g_1 = g_2$. Luego si el medio es homogéneo, para una misma corriente de inyección las diferencias de potencial leídas V_1 y V_2 serán iguales. Por tanto la resistividad medida será independiente de la posición de los electrodos de inyección y detección cuando estos se intercambian. Esta propiedad se conoce con el nombre de *principio de reciprocidad*, que se cumple también para medios heterogéneos (Orellana, 1982). No obstante, en la práctica no es conveniente colocar los electrodos M y N tan separados como suelen estar los A y B, pues al ser grande la distancia entre los primeros, la medida se vería afectada por la

2.3. Dispositivos tetraelectrónicos lineales básicos

En cualquier dispositivo electródico, si conocemos el factor geométrico g , la corriente eléctrica I inyectada por los electrodos A y B, y la diferencia de potencial entre los electrodos M y N, podemos calcular la resistividad aparente mediante (2.5). Los dispositivos tetraelectrónicos lineales más utilizados son los siguientes:

Dispositivo Wenner.

Los electrodos se disponen equidistantes sobre una línea en el orden AMNB (Figura 2.3)

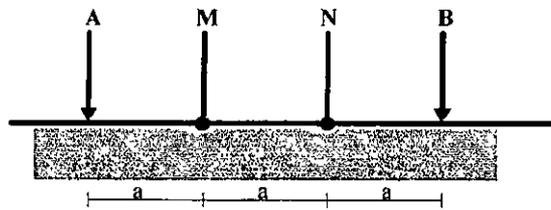


Figura 2.3. Dispositivo Wenner

El factor geométrico del dispositivo se deduce de (2.6),

$$g = 2 a \quad (2.9)$$

Dispositivo Schlumberger

Se trata de una composición simétrica de los electrodos AMNB dispuestos en línea, donde la distancia de los electrodos detectores MN es mucho menor que la de los inyectores AB (Figura 2.4). En la práctica, $AB > 5MN$.

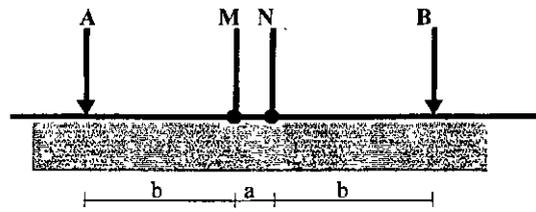


Figura 2.4. Dispositivo Schlumberger

El coeficiente del dispositivo en este caso es

$$g = \frac{b(b+a)}{a} \quad (2.10)$$

Si definimos $L = b + a/2$, el factor geométrico se puede expresar como

$$g = \left(\frac{L^2}{a} - \frac{a}{4} \right) \quad (2.11)$$

Si la distancia a que separa los electrodos M y N tiende a cero el factor geométrico queda

$$g = \frac{L^2}{a} \quad (2.12)$$

que tiende a infinito. Sin embargo la resistividad aparente es finita ya que V en (2.5) decrece al mismo tiempo que a . Tendremos, pues,

$$\rho_a = \lim_{a \rightarrow 0} \frac{L^2}{a} \frac{\Delta V}{I} = \frac{L^2}{I} \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{a} = \frac{L^2}{I} E \quad (2.13)$$

donde E es el campo eléctrico. La idea del dispositivo Schlumberger consiste, pues, en utilizar una distancia $MN = a$ muy corta, de tal modo que pueda tomarse como válida la ecuación anterior. Los desarrollos teóricos se establecen suponiendo que lo que medimos realmente es el campo E , el cual en la práctica se toma igual a V/a . Trabajar con el campo eléctrico comporta ventajas teóricas a la hora de trabajar con expresiones analíticas, como veremos en el próximo capítulo. El inconveniente es que la tensión diferencial medida disminuye linealmente con la separación a y es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia L . Además, la precisión de las mediciones geoelectricas de campo está muy limitada por heterogeneidades irrelevantes del terreno (ruido geológico).

En ciertos casos, el electrodo B se lleva a gran distancia de los demás de modo que no influya sobre el valor de V observado. Se tiene entonces el dispositivo denominado *Schlumberger asimétrico*, o *semi-Schlumberger*.

Dispositivo polo-dipolo

En este dispositivo el electrodo B se lleva a una gran distancia (teóricamente en el infinito) de los otros tres (Figura 2.5)

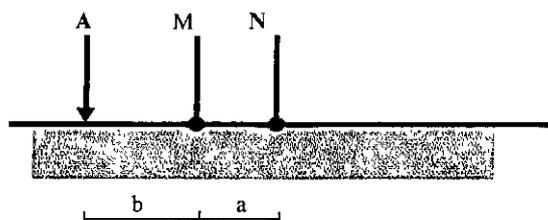


Figura 2.5. Dispositivo polo-dipolo

El factor geométrico del dispositivo en este caso es

$$g = 2 \frac{b(b+a)}{a} \quad (2.14)$$

Cuando $a \ll b$ este dispositivo es equivalente al *semi-Schlumberger*. Una variación del dispositivo *polo-dipolo* se obtiene moviendo uno de los electrodos de potencial, por ejemplo N, a un punto distante (teóricamente al infinito). En este caso el factor geométrico es

$$K = 2 b \quad (2.15)$$

que coincide con la expresión del dispositivo *Wenner*, por lo que también recibe el nombre de dispositivo *half-Wenner* (Telford, Geldart y Sheriff, 1990).

Dispositivo doble dipolo (axil)

En este dispositivo los electrodos se disponen sobre una línea en el orden ABMN formando así un doble dipolo (Figura 2.6). En América del Norte este dispositivo se denomina a veces *dispositivo dipolo-dipolo*. Realmente el dispositivo *doble dipolo* tiene diversas variantes (Orellana, 1982), pero en este trabajo solo se utilizará la que se ha descrito.

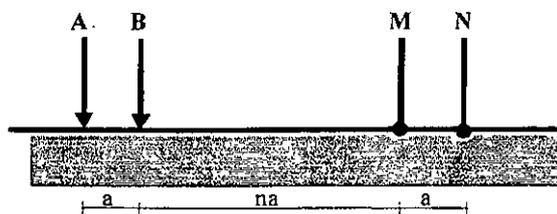


Figura 2.6. Dispositivo doble dipolo

El factor geométrico del dispositivo es en este caso

$$g = -n(n+1)(n+2)a \quad (2.16)$$

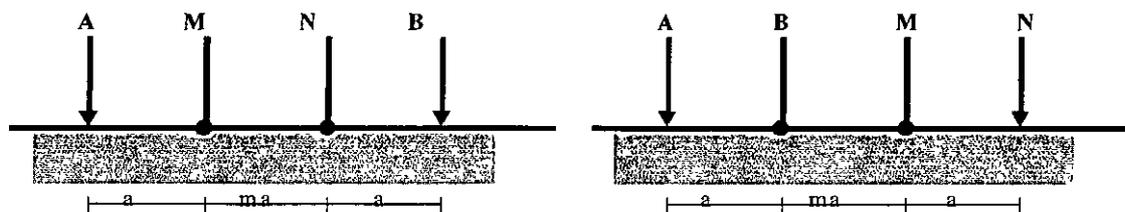
Este dispositivo se implementa normalmente con $n \gg 1$ (entonces AB y MN se comportan como un dipolo de corriente y de tensión respectivamente), aunque muchos autores utilizan este dispositivo incluso con $n = 1$. El factor geométrico cuando $n \gg 1$ se puede expresar como

$$g = -n^3 a \quad (2.17)$$

El inconveniente es que el campo dipolar decrece con el cubo de la distancia entre los dipolos de corriente y tensión, por lo que necesita detectores más sensibles que los otros dispositivos.

Dispositivos Wenner

La Figura 2.7 muestra la disposición de electrodos en los dispositivos *Wenner* y *β-Wenner*, donde m es un número real positivo (Roy, 1972). Un caso particular del dispositivo *β-Wenner* son los dispositivos *Wenner* ($m = 1$) y *Schlumberger* ($m \ll 1$). El dispositivo doble dipolo es un caso particular del *β-Wenner* cuando $m \gg 1$.

Figura 2.7. Dispositivos α -Wenner (izquierda) y β -Wenner (derecha).

2.4. Tipos de prospecciones geoelectricas

La finalidad de una prospección geoelectrica es conocer la forma, composición y dimensiones de estructuras o cuerpos inmersos en el subsuelo a partir de medidas en la superficie. Mediante la prospección geoelectrica conseguimos trazar una cartografía de resistividades aparentes del subsuelo que nos darán información sobre las estructuras que subyacen en él. Las prospecciones geoelectricas que se realizan se dividen generalmente en dos tipos:

- Sondeo eléctrico vertical (S.E.V).
- Calicatas eléctricas (C.E).

2.4.1. Sondeo eléctrico vertical.

La finalidad del sondeo eléctrico vertical (SEV) es averiguar la distribución vertical en profundidad de las resistividades aparentes bajo el punto sondeado a partir de medidas de la diferencia de potencial en la superficie. Se utiliza sobre todo para detectar y establecer los límites de capas horizontales de suelo estratificado (Figura 2.8).

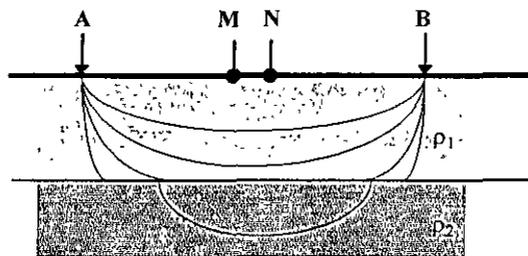


Figura 2.8. Principio del SEV. A medida que A y B se separan, la corriente va penetrando en las capas más profundas

La profundidad de penetración de la corriente eléctrica depende de la separación de los electrodos inyectoras AB. Si la distancia entre los electrodos AB aumenta, la corriente circula a mayor profundidad pero su densidad disminuye. Para un medio isótropo y homogéneo, el 50% de la corriente circula por encima de la profundidad $AB/2$ y el 70.6% por encima de una profundidad AB (Orellana, 1982). Sin embargo, no es posible fijar una profundidad límite por debajo de la cual el subsuelo no influye en el SEV, ya que la densidad de corriente disminuye de modo suave y gradual, sin anularse nunca. Podría pensarse que la ρ_a es proporcional a AB. Sin embargo esto no es cierto en general puesto que lo dicho sólo es válido para un subsuelo homogéneo.

Durante mucho tiempo, en prospección geoelectrica en corriente continua, la profundidad de investigación ha sido considerada sinónimo de la profundidad de penetración de la corriente. Sin embargo, el efecto de una capa en los potenciales o campos observados en superficie no depende únicamente de la densidad de corriente que la atraviesa. Roy y Apparao (1971) definen *la profundidad de investigación característica* como la profundidad a la que una capa delgada de

terreno (paralela a la superficie) contribuye con participación máxima a la señal total medida en la superficie del terreno. Los autores indican que la profundidad de investigación viene determinada por la posición de los electrodos inyectoros y detectores, y no sólo por la penetración o distribución de la corriente. Esto queda claro con un ejemplo: si se intercambian entre sí las posiciones de los electrodos de potencial con los de corriente, la distribución de las líneas de corriente cambia. Sin embargo, en virtud del principio de reciprocidad visto anteriormente, la resistividad aparente y por tanto la profundidad de investigación no cambian. Definiendo L como la distancia entre los dos electrodos extremos (sin considerar los situados en el infinito), los mismos autores determinan la profundidad de investigación de diversos dispositivos electródicos en un suelo homogéneo, siendo para el dispositivo polo-polo de $0,35L$, para Schlumberger de $0,125L$ y para Wenner de $0,11L$. Edwards (1977) sugiere que un valor más útil puede ser la profundidad a la cual la mitad de la señal medida en la superficie es debida a la porción de suelo superior a esa profundidad y la otra mitad de la señal a la porción de suelo inferior. Barker (1989) la define como la *efectiva*, y muestra con ejemplos la mayor utilidad de ésta sobre la utilizada por Roy y Apparao (1971). Las profundidades de investigación efectiva para los dispositivos Wenner, Schlumberger y doble dipolo son respectivamente de $0,17L$, $0,19L$ y $0,25L$ (para este último la profundidad de investigación característica es de $0,195L$), es decir ligeramente mayores que utilizando la definición

Experimentalmente, a partir de los dispositivos vistos en el apartado 2.3, el SEV consiste en aumentar progresivamente la distancia entre los electrodos manteniendo un punto central fijo (punto de sondeo P). Ahora veremos cómo se aplica a los diferentes dispositivos.

Sondeo Wenner

Dado el dispositivo Wenner AMNB con separación interelectródica a , el sondeo consiste en el aumento progresivo del valor de a manteniendo un punto central fijo P (Figura 2.9). Para la representación de los datos se muestra en ordenadas el valor de la resistividad aparente medida, ρ_a , en ohms·m, y en abscisas el valor de a en metros para cada paso.

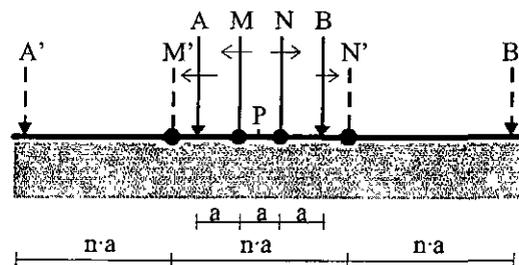


Figura 2.9. Sondeo Wenner. La distancia interelectródica pasa de a (AMNB) a na (A M N B).

Sondeo Schlumberger.

Dado el dispositivo Schlumberger AMNB con $AB \gg MN$, el sondeo consiste en separar progresivamente los electrodos inyectores A y B dejando los electrodos detectores M y N fijos en torno a un punto central fijo P. (Figura 2.10). La representación de este sondeo muestra en ordenadas ρ_a ($\Omega \cdot m$) y en abscisas la distancia $AB/2$ (m). En este sondeo el efecto de las heterogeneidades irrelevantes es menor pues sólo se mueven el par de electrodos inyectores A y B.

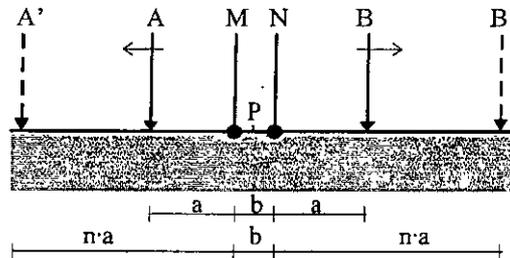


Figura 2.10. Sondeo Schlumberger. Los electrodos A y B se abren progresivamente mientras M y N están fijos.

Sondeo dipolar

Dado el dispositivo doble dipolo ABMN, el sondeo consiste en la separación creciente de los centros de los dipolos respecto a un punto fijo origen P (Figura 2.11). La representación de este sondeo muestra en ordenadas ρ_a ($\Omega \cdot m$) y en abscisas la separación de los centros de los dipolos en metros.

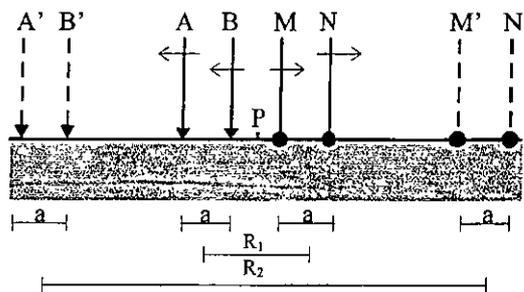


Figura 2.11. Sondeo dipolar. Los dipolos se mantienen, aumentando la separación entre ellos.

Efectos laterales en el SEV y ambigüedades en su interpretación

Si el dispositivo electródico está próximo a un contacto vertical, las líneas de corriente serán distorsionadas por lo que ΔV_{MN} se verá afectado por el otro medio, tanto más cuanto mayor sea la separación de los electrodos AB. Por lo tanto, la medida de la resistividad aparente en un SEV está influida por la distribución de resistividades en un cierto volumen de terreno. Esto implica que para

distancias AB grandes no se sabrá si la resistividad aparente es debida a cambios de estructuras en la profundidad o a las heterogeneidades laterales por contraste de resistividades (Orellana, 1982).

Puede ocurrir que las curvas de resistividad aparente para dos casos diferentes de SEV sean idénticas si la relación entre profundidad a la que se encuentra un estrato y su resistividad permanece constante, lo que provoca una ambigüedad en la deducción del grosor de la capa y su resistividad.

Aplicaciones

El SEV es aplicable cuando el objetivo tiene una posición horizontal y una extensión mayor que su profundidad. Tal es el caso del estudio de capas tectónicas, hidrológicas, etc. También es adecuado para trabajar a poca profundidad sobre topografías suaves como complemento de las calicatas eléctricas, con el objetivo de decidir la profundidad a la cual realizar el perfil de resistividades, como ocurre por ejemplo en Arqueología. El SEV no es adecuado para contactos verticales, fallas, diques, etc.

2.4.2. Calicatas eléctricas

La finalidad de las calicatas eléctricas (CE) es obtener un perfil de las variaciones laterales de resistividad del subsuelo fijada una profundidad de investigación. Esto lo hace adecuado para la detección de contactos verticales, cuerpos y estructuras que se presentan como heterogeneidades laterales de resistividad. Orellana (1982) resalta que la zona explorada en el calicateo eléctrico se extiende desde la superficie hasta una profundidad más o menos constante, que es función tanto de la separación entre electrodos como de la distribución de resistividades bajo ellos.

Experimentalmente, la CE consiste en trasladar los cuatro electrodos del dispositivo a lo largo de un recorrido, manteniendo su separación, obteniéndose un perfil de resistividades aparentes a lo

Calicata Wenner

Partiendo de sus respectivos dispositivos base, esta calicata consiste en desplazar los cuatro electrodos AMNB a la vez manteniendo sus separaciones interelectrónicas a lo largo de un recorrido (Figura 2.12). Se representa la distancia del origen, O, al centro de los electrodos MN en abscisas y en ordenadas el valor de ρ_a (Ωm) para cada distancia x .

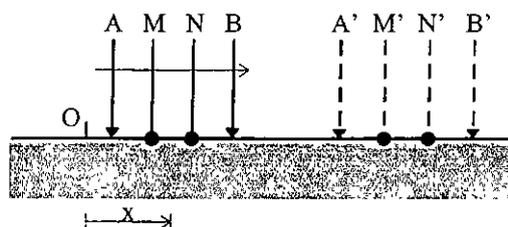


Figura 2.12. Calicata Wenner. Los cuatro electrodos se desplazan a la vez manteniendo sus separaciones.

Calicata Schlumberger.

En este tipo de calicata podemos citar dos variantes. La primera sería similar a la calicata Wenner, desplazando lateralmente los cuatro electrodos del dispositivo Schlumberger a la vez. La segunda consiste en desplazar los electrodos detectores M y N entre A y B, los cuales están fijos y a una gran distancia de los electrodos detectores (Figura 2.13). La profundidad de penetración de la medida no es constante puesto que no es una verdadera calicata, siendo máxima cuando los electrodos MN se hallan en el centro del segmento AB.

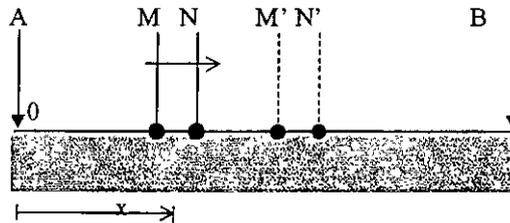


Figura 2.13. Calicata Schlumberger (segunda variante). Los electrodos M y N se mueven de A hasta B manteniendo su separación.

La Figura 2.14 muestra las distancias entre electrodos, donde se escoge el origen en el punto medio entre los electrodos inyectores.

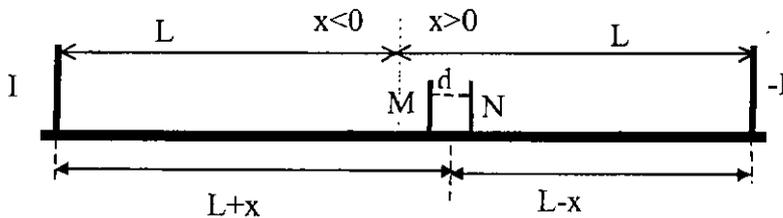


Figura 2.14. Dispositivo de cuatro electrodos. La corriente se inyecta por los electrodos externos y la diferencia de potencial se mide entre los electrodos M y N.

El factor geométrico es en este caso

$$g(x) = 2 \left(\frac{1}{L + (x - d/2)} - \frac{1}{L - (x - d/2)} - \frac{1}{L + (x + d/2)} + \frac{1}{L - (x + d/2)} \right)^{-1} \quad (2.18)$$

Si la medida es de campo eléctrico, es decir si d tiende a cero, la resistividad aparente es

$$\rho_a(x) = -\frac{(L^2 - x^2)^2}{I(L^2 + x^2)} E_x \quad (2.19)$$

Si la distancia entre los electrodos inyector es muy grande respecto a la otras distancias, es decir, si $L \gg x, d$, la resistividad aparente es

$$\rho_a(x) \cong \frac{L^2}{I} \frac{\Delta V(x)}{d} \quad (2.20)$$

Si en este último caso la distancia d tiende a cero (medida del campo eléctrico) tenemos que

$$\rho_a(x) \cong \frac{L^2}{I} E_x \quad (2.21)$$

Calicata polo-dipolo

La calicata polo-dipolo consiste en desplazar los tres electrodos AMN a la vez, manteniendo sus separaciones interelectrónicas, a lo largo de un recorrido. Se representa la distancia de un origen escogido al centro de los electrodos MN en abscisas y el valor de la resistividad aparente medida ($\Omega \cdot m$) para cada distancia x en ordenadas. En la calicata polo-polo se desplazan los electrodos AM y la resistividad aparente se representa respecto al punto medio entre A y M.

Calicata dipolar.

Esta calicata basada en el dispositivo dipolar consiste en desplazar los cuatro electrodos ABMN a la vez, manteniendo sus separaciones interelectrónicas, a lo largo de un recorrido (Figura 2.15). Se representa la distancia del origen, O, al punto medio entre los dos dipolos en abscisas y en ordenadas el valor de la resistividad aparente medida ($\Omega \cdot m$) para cada distancia x (m).

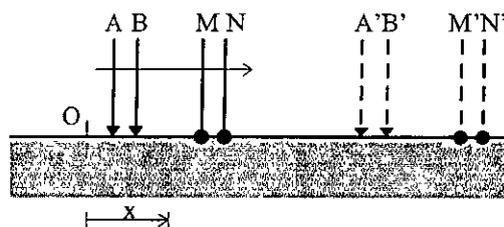


Figura 2.15. Calicata dipolar. Se desplaza el dispositivo dipolar manteniendo las separaciones.

Cada tipo de calicata responde a las heterogeneidades laterales con diferente resolución e intensidad de cambio, por lo que a la hora de interpretar las curvas de resistividad aparente hay que tener en cuenta el dispositivo electrónico utilizado.

Elección del tipo de calicata más adecuado. Factores a considerar.

En general no puede afirmarse que tal o cual tipo de calicata eléctrica sea superior a los demás. Para cada problema concreto, cada uno de estos tipos presenta ventajas e inconvenientes. La elección debe tener en cuenta muchos factores, tales como el corte geoelectrico esperado, las características de la zona de trabajo, la clase de prospección, así como factores económicos.

En una curva de resistividad aparente se produce una discontinuidad cada vez que un electrodo pasa sobre un cambio lateral de resistividad, por lo que resulta que cuanto mayor sea el número de electrodos movidos más ancha y complicada se hace la anomalía en la curva de resistividad aparente, lo cual hace más difícil la interpretación. Por esta razón se recomienda la calicata Schlumberger con los electrodos A y B fijos o la dipolar con los dipolos bien separados (equivalente a mover solo dos electrodos).

La diferencia de potencial V_{MN} representa la integral del gradiente de potencial entre los electrodos M y N. Por tanto, cuanto más separados estén los electrodos M y N tanto más suavizada será la curva de la resistividad aparente, lo que provocará que objetos pequeños y cercanos se confundan en uno solo. Cuanto más pequeña sea la distancia MN se tiene mayor resolución y amplitud de cambio de resistividad aparente debido a un objeto (Figura 2.16), por lo que la calicata Schlumberger tiene mayor resolución que la Wenner.

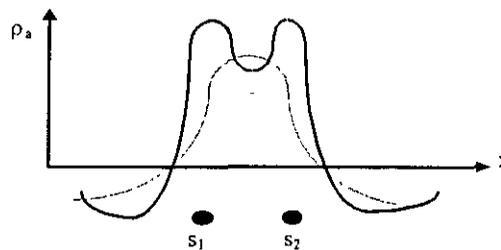


Figura 2.16. Efecto del aumento de la distancia MN en la resistividad anómala de dos cuerpos s_1 y s_2 , a) MN pequeña (línea continua), b) MN grande (línea a trazos)

El paso por el que se avanzará en la trayectoria depende del tamaño del objeto buscado. Este debe ser en principio menor que las dimensiones del objeto buscado para tener mayor resolución, aunque también se verá afectado por mayor ruido geológico. En el caso de cuerpos de extensión limitada es necesario que el perfil pase sobre él, puesto que la amplitud de la anomalía varía poco si el perfil en vez de pasar por su centro pasa por su borde y es casi inapreciable a distancias del borde superiores a la longitud del dispositivo (Orellana, 1982).

Aplicaciones.

Las aplicaciones de la calicata eléctrica están en la detección de fisuras, fallas, contactos verticales en general y objetos o estructuras enterradas. La realización de calicatas en trayectorias paralelas permite trazar la cartografía de resistividades aparentes de un terreno a profundidad

constante representada por curvas de iso-resistividad. Estos mapas de resistividad se aplican en arqueología para decidir sobre la estrategia a seguir en las excavaciones.

2.5. Sistema de medida y configuraciones electrónicas utilizadas.

Cuando se necesita una exploración detallada y con gran resolución espacial se requiere un gran . El cambio manual de los electrodos inyectores y detectores a cada medida es un proceso laborioso y lento. Los sistemas automáticos aceleran los procesos de medida e interpretación (Griffiths, Turnbull y Olayinka, 1990). Sin embargo, los equipos comerciales (é.g., Terrameter) son sistemas cerrados que no permiten mucha flexibilidad en la elección de parámetros como la frecuencia o la forma de onda de la corriente inyectada. Además, tampoco están pensados para trabajar con modelos a escala (modelos analógicos) en el laboratorio.

La Figura 2.17 muestra el sistema PROGEO desarrollado para realizar medidas automáticas en el laboratorio (Alberto, 1997), que será descrito con detalle en el capítulo 4. El sistema usa instrumentos comerciales. El generador de funciones (HP3245A) inyecta una señal sinusoidal o cuadrada de frecuencia 10 Hz a 10 kHz y de amplitud máxima 20 V (pico a pico). El programa de aplicación selecciona estos parámetros vía el bus GPIB. El generador de funciones también proporciona una señal de referencia para disparar el osciloscopio digital (TDS420), el cual digitaliza la tensión amplificada por la sonda diferencial (ADA400A). El osciloscopio digitaliza simultáneamente la tensión diferencial de la sonda (canal 2) y la tensión que cae en la resistencia R_0 (canal 1) que se utiliza para realizar una medida indirecta de la corriente inyectada. Se han configurado dos tarjetas con 32 relés SPST cada una (MEM32A, Keithley) para implementar una matriz de conmutación 4x16. Esto permite escoger, en una ristra de 16 electrodos, cualquier par de electrodos para la inyección y cualquier otro par para la detección. El programa de aplicación está implementado en LabWindows versión 2.3 para DOS (National Instruments). Las principales funciones son: selección de parámetros para la señales inyectada y detectada, configuración electrónica, adquisición de la señal y demodulación software, y representación de la resistividad aparente.

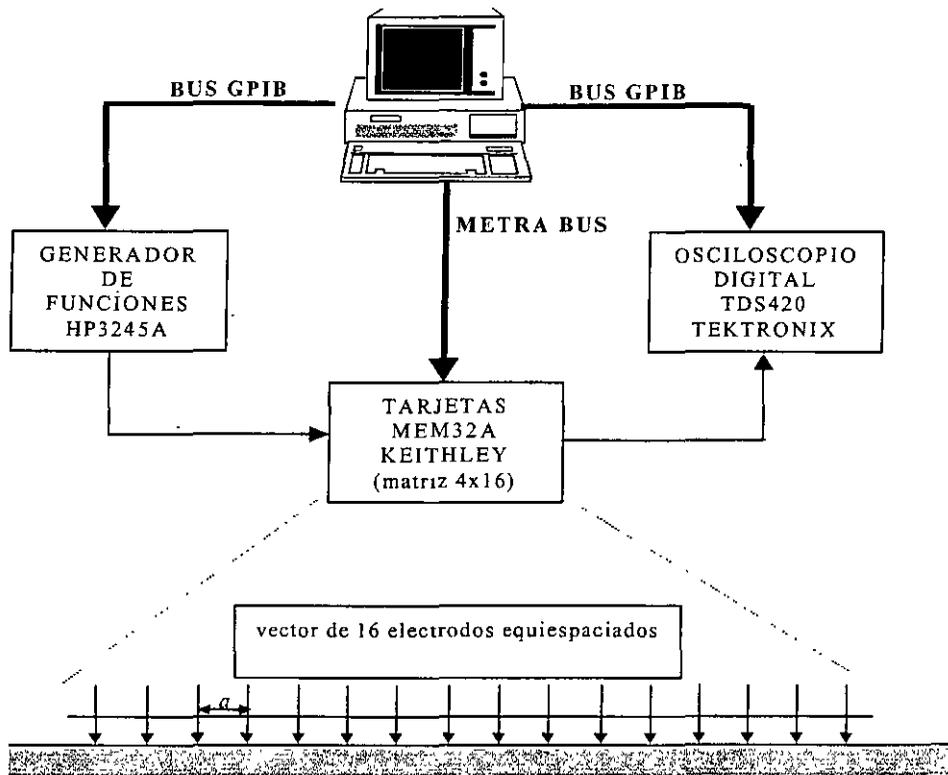


Figura 2.17. Sistema automático de medida PROGEO

Las medidas se realizan en un modelo analógico constituido por una cubeta de plástico de dimensiones 40 cm x 35 cm x 20 cm llena de agua hasta un nivel de unos 16 cm, en la que se introducen diferentes objetos a fin de simular la presencia de objetos locales. Se utilizan 16 electrodos equiespaciados 1 cm o 2 cm. Debido a las reducidas dimensiones de la cubeta, no se han implementado los dispositivos electródicos que tienen uno o más electrodos en el infinito, como son el dispositivo doble dipolo y el dispositivo polo-polo. El apéndice E muestra imágenes del sistema de medida PROGEO y del modelo analógico para realizar las medidas.

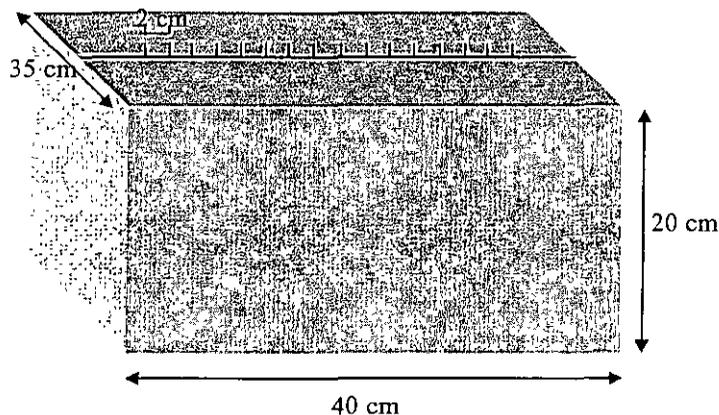


Figura 2.18. Dimensiones de la cubeta utilizada para realizar las medidas experimentales en el laboratorio.

Con un sistema de medida automático es interesante plantearse la posibilidad de adquirir un mayor número de valores de resistividad aparente con la idea de mejorar la interpretación de las estructuras del subsuelo. Noel y Xu (1991) afirman que con un vector de N electrodos, el número S_N es

$$S_N = \frac{N(N-3)}{2} \quad (2.22)$$

Los autores ilustran esta afirmación con ejemplos y muestran cómo muchas medidas se pueden obtener como superposición de otras. Con 16 electrodos tendremos 104 medidas independientes. En lo que sigue describimos cómo utilizar los dispositivos electródicos vistos para obtener el máximo número de medidas independientes. Una medida nueva será independiente si no se puede obtener como combinación de las anteriores. De aquí en adelante entenderemos el término como un conjunto de medidas utilizando uno o varios dispositivos electródicos. Normalmente estas configuraciones serán combinaciones de calicatas y sondeos, ya que nuestro interés radica en la obtención del cambio de la resistividad en las tres direcciones del espacio. Las configuraciones basadas en los dispositivos polo-dipolo y polo-polo no serán implementables en el laboratorio, debido a las reducidas dimensiones de la cubeta

Configuración doble dipolo

Es una combinación del sondeo y de la calicata doble dipolo. Para cada inyección desplazamos los electrodos MN desde el par de electrodos adyacentes a los electrodos AB hasta el extremo derecho. A cada nueva inyección desplazamos los electrodos AB una unidad (espaciado interelectródico) hacia la derecha. La Figura 2.19 muestra el proceso

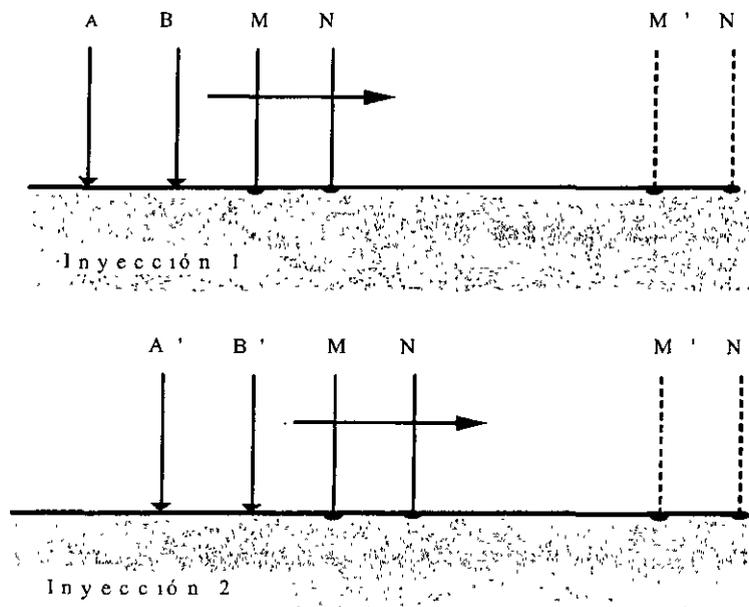


Figura 2.19. Configuración doble dipolo. Es una combinación del sondeo y la calicata con el dispositivo doble dipolo.

Se basa en la calicata *Schlumberger* y en el dispositivo *-Wenner*. Para cada inyección desplazamos los electrodos MN desde el electrodo A hasta el electrodo B. En cada nueva inyección el electrodo A se va desplazando una unidad hacia la izquierda quedando fijo el electrodo B (Figura 2.21). Esto produce 91 medidas independientes.

Si inyectamos corriente entre los electrodos 1 y 15 y medimos la tensión diferencial entre los pares adyacentes restantes obtenemos 12 medidas independientes más. La última medida la podemos obtener, por ejemplo, inyectando corriente entre los electrodos 3 y 16, y midiendo la tensión diferencial entre los electrodos 1 y 2. Esta configuración (con las 104 medidas independientes) *Schlumberger*. La relación entre las medidas mayor (AB = 13-16, MN = 14-15) y menor (AB = 1-16, MN = 8-9) es en este caso de 28, mucho menor que en la configuración *doble dipolo*.

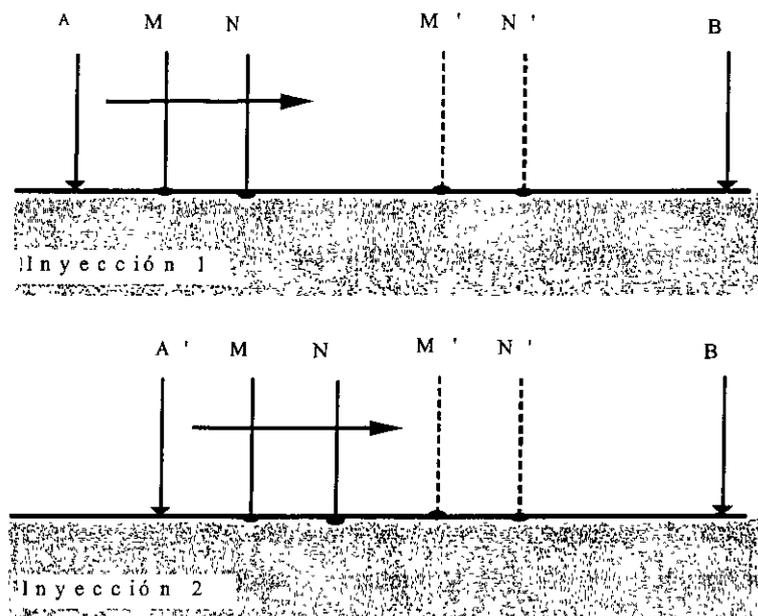


Figura 2.21. Configuración Schlumberger. Está basado en la calicata Schlumberger con los electrodos de corriente fijos. En cada nueva inyección el electrodo A se desplaza una unidad hacia la derecha.

Configuración polo-dipolo

El procedimiento es análogo al de la configuración Schlumberger pero con el electrodo B en el infinito. La Figura 2.22 muestra el proceso para las dos primeras inyecciones. El electrodo A se desplaza desde el electrodo 1 hasta el electrodo 14. En total resultan 105 medidas independientes.

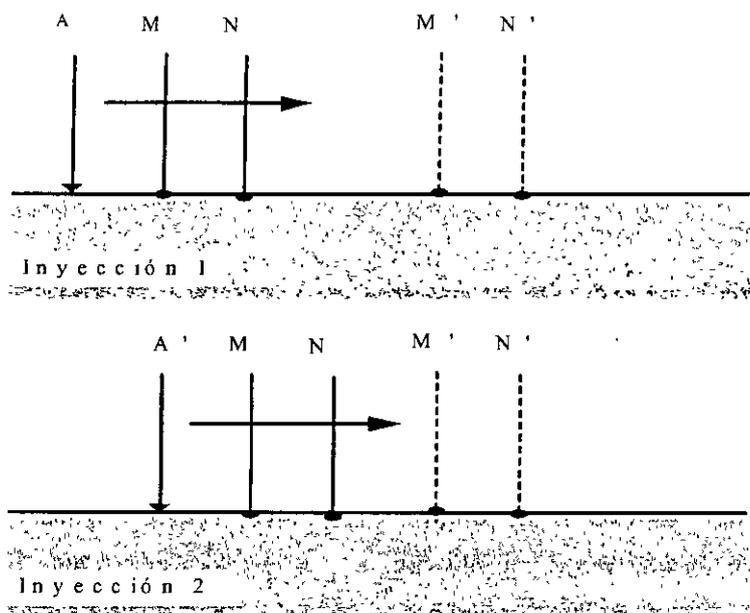


Figura 2.22. Configuración polo-dipolo. El procedimiento es análogo a la configuración Schlumberger per ahora el electrodo B está en el infinito.

El número de medidas independientes se puede incrementar situando el electrodo A en la posición 16 y midiendo entre los electrodos adyacentes restantes. En total tendremos 119 medidas independientes. Esto no es una contradicción, ya que ahora el número real de electrodos es 17 contando el electrodo en el infinito. Esta configuración recibirá el nombre de *polo-dipolo*. La relación entre las medidas mayor y menor es ahora de 104.

Configuración polo-polo

La Figura 2.23 muestra la secuencia de medida. Los electrodos B y N están situados en el infinito. El potencial se mide en los electrodos a la derecha del electrodo inyector A. En cada nueva inyección el electrodo A se desplaza una unidad hacia la derecha. El total de medidas independientes es de 120 cuando el máximo teórico es de 119 (con 17 electrodos). Esto es debido a que la coincidencia de los electrodos N y B permite una medida independiente más. La relación entre las medidas mayor (electrodos A y M contiguos) y menor (electrodos A y M en los extremos) es de 15.

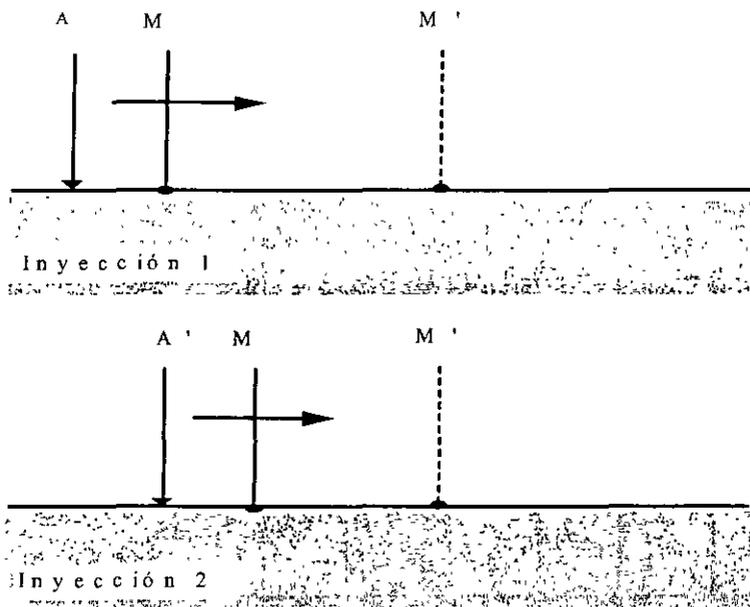


Figura 2.23. Configuración polo-polo. Los electrodos N y B están en el infinito. El electrodo A se desplaza de izquierda a derecha. Las medidas de tensión se realizan a la derecha del electrodo A.

De las configuraciones utilizadas la *polo-polo* y la *polo-dipolo* presentan un mayor número de medidas independientes pero esto se debe a que en realidad ha utilizado un electrodo más. Si bien teóricamente este electrodo está en el infinito, en la práctica suele considerarse suficiente una distancia 10 veces mayor que la máxima separación entre los electrodos activos (los no situados en el infinito), lo que no siempre es posible. Las configuraciones que requieren menor margen dinámico son la *polo-polo* y la *Schlumberger*. En cambio el margen dinámico requerido por la configuración *doble dipolo* puede resultar demasiado exigente.

Para obtener imágenes tridimensionales de la distribución de resistividad del subsuelo necesitamos incrementar el número de medidas (con cualquiera de las configuraciones anteriores). El procedimiento adoptado será repetir las configuraciones anteriores a lo largo del eje y (Figura 2.24), como veremos en los capítulos 5 y 6.

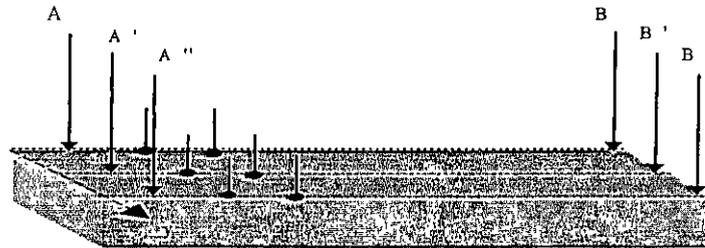


Figura 2.24. Las configuraciones se repiten a lo largo del eje perpendicular al vector de electrodos con el fin de obtener imágenes tridimensionales de la distribución de resistividad en el subsuelo.

2.6. Resumen

La resistividad de los suelos tiene un margen de variación muy amplio. Incluso un mismo suelo puede presentar diferentes resistividades con el tiempo dependiendo de factores como la temperatura o la humedad, siendo éste el más determinante. Por lo tanto es difícil estimar la composición del subsuelo solamente a partir de la medida de resistividad.

La medida de la resistividad aparente se realiza normalmente mediante cuatro electrodos, dos para inyectar la corriente y otros dos para medir la diferencia de potencial. Los dispositivos lineales más utilizados son: Wenner, Schlumberger, doble dipolo, polo-dipolo y polo-polo.

Las prospecciones geoelectricas se dividen normalmente en dos tipos: SEV y CE. El SEV tiene como objetivo determinar la variación de la resistividad con la profundidad, lo que es adecuado, por ejemplo, en la determinación de las diferentes capas o estratos de un suelo. La CE trata de determinar la variación de la resistividad a una profundidad determinada y se utiliza por ejemplo en

Cuando se pretende obtener imágenes en dos o tres dimensiones de la distribución de resistividad del subsuelo es más adecuado utilizar una combinación de calicatas y SEV. Se proponen configuraciones multielectrónicas basadas en dispositivos clásicos. Con 16 electrodos el número máximo de medidas independientes es de 104. El número de medidas se puede incrementar desplazando la agrupación de electrodos perpendicularmente. Para acelerar el proceso de medida se utiliza un sistema de medida automático (Alberto, 1997) que permite cualquier combinación de electrodos inyectores y detectores. Debido a las reducidas dimensiones de la cubeta utilizada para

realizar medidas en el laboratorio, sólo es posible implementar las configuraciones Schlumberger y doble dipolo. Esta última necesita un gran margen dinámico en el detector.



DIVISIÓN DE EDUCACIÓN
CONTINUA Y A DISTANCIA

*DIPLOMADO
DISEÑO Y CÁLCULO DE
INSTALACIONES ELÉCTRICAS
(RESIDENCIALES, INDUSTRIALES Y
ESPECIALES)*

*MÓDULOS C Y D
C. CA4-11 PUESTAS A TIERRA
D. CA4-12 DESCARGAS ATMOSFÉRICAS*

ANEXOS

EXPOSITOR: ING. ALFREDO NAVA RODRÍGUEZ

SECRETARÍA DE LA DEFENSA NACIONAL

INTRODUCCIÓN.

¿Que es una tierra física o eléctrica?

Hablar de “Tierras Físicas” o “Tierras Eléctricas” suena muy abstracto para quien no está relacionado con el tema. La TIERRA FÍSICA es una conexión de seguridad humana y patrimonial que se diseña en los equipos eléctricos y electrónicos para protegerlos de disturbios o transitorios imponderables, por lo cual pudieran resultar dañados. Dichas descargas surgen de eventos imprevistos tales como los fenómenos artificiales o naturales como descargas electrostáticas, interferencia electromagnética, descargas atmosféricas y errores humanos.

Cuando se propone hacer la instalación a “Tierra Física”, de inmediato pensamos en una varilla o una malla de metal conductora (red de tierra), ahogada en el terreno inmediato de nuestras instalaciones con el fin de que las descargas fortuitas ya mencionadas, sean confinadas en forma de ondas para que se dispersen en el terreno subyacente y de esa forma sean “disipadas”, en donde se supone que tenemos una carga de cero volts y que además nos olvidamos de que estos elementos son de degradación rápida y que requieren mantenimiento.

La observación de los cero volts entre cargas atmosféricas (Neutro-Ground-Masas) no necesariamente es cierta, pues según mediciones llevadas a cabo con equipo de mediana y alta tecnología, existen zonas de disipación de descargas que tienen voltajes muy superiores a cero, donde lo que se supone que debe de ser de protección humana o a equipo eléctrico y/o electrónico, se convierte en un punto alto de riesgo con consecuencias impredecibles.

Hay lugares en los que dicha diferencia de potencial llega a ser tan alto que se han logrado mediciones entre neutro y tierra física (desde 5 o más voltios C.A.), lo cual significa que entre el cable que se supone que TIENE VOLTAJE CERO y la tierra que también lo debe tener, existe un potencial de tal magnitud que bien se podría comparar con la necesaria para que trabajen los aparatos domésticos como refrigeradores, televisores, licuadoras, hornos de microondas, computadoras, etc.

Este fenómeno detectado se presenta por la cantidad de descargas eléctricas, magnéticas y de ondas hertzianas que se obtienen por una incorrecta disipación a tierra y que “saturan” a los conductores de puesta a tierra.

Esto no es lo mas grave, pues en el caso de la industria se han realizado mediciones que hacen incrementar un factor denominado de pérdidas, que afecta directamente a la pérdida de capital, por las constantes “fallas de energía” y el constante deterioro del equipo electrónico originado por esa corriente de falla que no llega a disiparse eficientemente y que da una diferencia de potencial en el suelo donde se tiene la supuesta descarga de “tierra física”.

Es por ello que se sugiere un esquema de protección de alta eficiencia electromecánica y electrónica que verdaderamente realice la disipación de la carga que fluye hacia la tierra física de nuestros aparatos y equipos que requieren de ella, que a la vez reduzca a un MÍNIMO REAL el riesgo por aquellas corrientes indeseables no confinadas por los sistemas tradicionales. Con la finalidad de que sean realmente eliminadas, de forma tal que la posibilidad de falla de equipos e instalaciones sea reducida a su mínima expresión. Además, se busca el máximo aprovechamiento de nuestra potencia de entrada a los aparatos y equipos, al no encontrar el problema que representa esa corriente de falla en los circuitos e instalaciones, así como la compatibilidad y acoplamiento efectivo entre las fuentes de energía y las cargas eléctricas. Encontrar corriente e impedancia en la tierra en donde tenemos nuestras instalaciones, no es raro ni caso excepcional debido a que la tierra está siendo “saturada” por diferentes medios como ondas electromagnéticas provocadas por campos eléctricos, campos magnéticos, corriente de falla o descargas de cualquier tipo, incluyendo las descargas meteorológicas las cuales navegan en la corteza terrestre y ocasionan una carga que puede ser conducida a los equipos por medio de las propias instalaciones de tierra física convencionales.

Una vez determinado el origen del problema, se buscó una solución óptima para erradicar el riesgo que presenta la carga que satura el suelo y que provoca gran cantidad de fallas en el funcionamiento de los

aparatos como cortocircuitos, alti-bajas en el voltaje de circuitos "regulados", desconexión intermitente de corto circuito, etc.

Así pues, confirmado el hecho de que existía una carga eléctrica donde se suponía que debería ser cero de voltaje, se propone establecer la forma de evitar que dicho potencial afectara instalaciones o bien que éstas quedaran como la teoría y el propio diseño lo exige.

Al comprobar que la carga en el suelo es muy superior a lo esperado y llega de forma impredecible de todas partes, lo que ocasiona que una descarga eléctrica fortuita llegue a impactar en la instalación convencional de "tierra física", la descarga encontraría una alta resistencia al llegar directamente al suelo y, por lo tanto, "correría" por todas las instalaciones eléctricas y lo que estuviera conectado a ellas.

Por ello se debe procurar anular la impedancia total (Z_R , Z_L , Z_C) y en un amplio espectro de frecuencias con respecto al suelo y reducirla a su mínima expresión con el fin de que las descargas que pudieran llegar a formarse en estos lugares se disiparan en forma de ondas, sin el riesgo de un incremento del voltaje de paso, de toque o en los circuitos e instalaciones conectadas a "tierra física". Los pararrayos resultan ser el factor de más alto riesgo, pues al estar sobrecargado el suelo de energía, si esta energía es de la misma polaridad que la de la atmósfera, las descargas NO LLEGAN A DAR EN LOS PARARRAYOS, por el contrario, los evitan. Y si la energía en el suelo es de diferente polaridad que la de la atmósfera, entonces actúan como "atravesantes" de las descargas y, al no encontrar dichas descargas la menor impedancia a tierra, los rayos llegan a ser conducidos por las estructuras metálicas de las edificaciones, tales como: varillas, pasamanos, tuberías de agua, gabinetes metálicos y las mismas instalaciones eléctricas, con lo que puede provocar el efecto de explosiones en los sitios donde se descargan en su mayor potencial.

De aquí la necesidad de encontrar la forma de "igualar la impedancia" o resistencia de los puntos de descarga y de atrapamiento de los rayos, de tal manera que, cuando se encuentre la descarga tocando el pararrayos, en todo el sistema se tenga igual impedancia para que la descarga se dirija directamente a tierra en forma de onda horizontal que nulifique los efectos destructivos.

La orientación de los campos electromagnéticos se debe dar en base a los polos magnéticos del planeta. El campo magnético de la tierra, al no estar "alineado" con campos formados por otros orígenes, crea nodos y distorsiones por la influencia de las líneas de campo y da como consecuencia interferencias al de menor valor.

OBJETIVO

Implementar un sistema diseñado para mejorar el funcionamiento de los equipos eléctricos, electrónicos y en general, con todo lo relacionado a las instalaciones eléctricas, como son: motores, plantas de energía, líneas, estructuras, equipo de diversa índole y para gran variedad de aplicaciones entre las que destaca la informática, redes, etc. Y en sí todas las instalaciones utilizadas para la transferencia de corriente eléctrica y todo aquello que se considere como conductor que esté en contacto con dichas instalaciones que pudiera ser susceptible de establecer un "arco voltaico". Se protegen zonas de alto riesgo por el manejo de materiales explosivos, comburentes o combustibles como en los despachos y depósitos de gasolina y derivados del petróleo, o químicos de esas características; zonas de manejo de altos voltajes como en las subestaciones eléctricas; edificaciones y lugares en donde hay aglomeraciones de personas por diferentes causas, como edificios públicos y privados, hospitales, hoteles, cines, teatros y lugares de servicio turístico, comercios y centros comerciales y todos los lugares requieren de una protección en sus instalaciones eléctricas incluyendo contra descargas atmosféricas fortuitas. Ya que es sabido que existen zonas consideradas como CORREDORES DE RAYOS; es decir, la probabilidad de descargas eléctricas atmosféricas es muy alta y de consecuencias graves para los habitantes de dichos lugares. En las zonas de corredores de rayos, las instalaciones eléctricas de la edificación deben de ser protegidas de forma adecuada y segura, los edificios elevados presentan el mayor riesgo de atracción de los rayos en las tormentas eléctricas con pararrayos convencionales, aunque estos edificios no son el

caso exclusivo.

El sistema responderá al principio básico de funcionamiento de un verdadero acoplamiento electromagnético entre dos masas, a través de una eficiente y baja impedancia al planeta tierra, esto se perfeccionará incorporando un esquema eficiente de protección, en el cual estarán involucrados, la tierra física (no varillas), las cuchillas desconectoras y fusibles, las protecciones termomagnéticas, supresor de picos primario (protector primario), circuitos desconectores y supresores de picos, los dos últimos se deberán instalar en cada uno de los equipos eléctricos y/o electrónicos y estarán incorporados ambos en un solo equipo que denominaremos **protectores**.

LA SOLUCIÓN EFECTIVA.

En la actualidad se requiere de la colocación de barras o varillas de conducción para la tierra física de las instalaciones eléctricas de cualquier tipo; sin embargo, si son depositadas en una superficie pequeña (cercanas entre sí), los flujos de corriente utilizarán las mismas trayectorias de salida para la disipación y con ello se reducirá la capacidad de conducción del suelo.

Se busca que el sistema de protección tenga las características de un electrodo magnetoactivo integral de mayor transmisión de corriente cuyas características nos permitan asegurar los siguientes beneficios.

- Mejora de la eficiencia del transformador (Baja reluctancia magnética).
- Atenuación de radiación de campos magnéticos al mejorar el efecto de apantallamiento en su blindaje.
- Ahorro de energía al atenuar la radiación electromagnética y disminución del efecto Joule .
- Incremento del transporte de energía eléctrica.
- Mayor vida efectiva para los bancos de capacitores.
- Incremento de la eficiencia del neutral.
- Cancelación de los "bucles " o diferencias de potencial entre los gabinetes de distribución y el transformador; y en general en toda la red de distribución eléctrica.
- Baja temperatura en transformadores y motores.
- Real acoplamiento eléctrico entre potencial y carga.

- Impedancia baja y efectiva a tierra.
- Disminución del efecto galvánico (Corrosión).
- Depresión de la distorsión armónica (THD)

Además al implementar este sistema en talleres, industrias y centros de producción en general, se busca proteger a toda la maquinaria y equipo electromecánico y electrónico como son las máquinas-herramientas, los motores y controles electrónicos, etc. con lo cual se obtiene:

- Incremento en la seguridad del centro de trabajo
- Disminución del calentamiento en motores y cables (efecto anti-Joule)
- Ahorro de energía al operar transformadores con un "Xo" a muy baja impedancia total.
- Atenuación de ruido y distorsión en variadores de velocidad.
- Disminución de distorsión armónica.
- Mejorar el factor de potencia.
- Mayor tiempo de vida, en los sistemas, equipos y aparatos,
- MENOR COSTO DE MANTENIMIENTO CORRECTIVO A LA INSTALACIÓN,
- Mejor rendimiento y eficiencia de tarjetas electrónicas y componentes delicados.
- Disminución en fallas y descomposturas de equipo causadas por corrientes indeseables.
- Mayor calidad de operación.
- Menor costo de mantenimiento.

- Ahorro de energía.
- Menor índice de errores.
- Incremento de estabilidad y eficiencia.
- Mayor velocidad/metro en transmisión de datos en redes.
- Mayor calidad y pureza de definición en las señales.
- Mayor vida útil del equipo, sistema y aparatos.

Para lograr estos puntos la tecnología se conforma de una plataforma equipotencial integrada por los diversos circuitos eléctricos mediante una ingeniería de vectores que permite definir cada uno de los protagonistas conductores a tierra, como son el Xo, la tierra física "0" lógico, pararrayos y protección catódica, la interacción entre conductores a tierra (Nec. 250-51) se efectúa por medio de acopladores que permiten obtener permitividad homogénea respecto a tierra y acoplarse a la misma por medio de los electrodos magnetoactivos. También se utilizarán elementos de desconexión independientemente de los existentes en cada instalación eléctrica que marca la Norma Oficial Mexicana "NOM" (cuchillas de desconexión, fusibles y centros de carga). Estos equipos de desconexión implementan la tecnología de los semiconductores, elementos como los varistores y relevadores). Los primeros actuando como supresores de picos "filtros" y los segundos efectuando un corte de energía en el momento de que una descarga se presente (variación de voltaje o sobretensión). La idea de incluir estos sistemas, que a partir de este momento denominaremos **protectores secundarios**, es la de proporcionar seguridad adicional a nuestros equipos e instalaciones, ya que cualquier conductor que esté entrando o saliendo de un equipo puede ser el camino para una descarga electrostática, interferencia electromagnética, descargas atmosféricas y errores humanos, de ello surge la necesidad de incorporar a esos conductores en el esquema de protección, así podemos crear un esquema de protección efectiva en cada uno de los equipos eléctricos y electrónicos cercando el paso a cualquier falla. Conjuntando dichos sistemas podemos lograr una esfera de protección, para ello necesitamos incluir un sistema de protección primario el cual tenga la capacidad de filtrar grandes corrientes (50 [KA]) y una disipación de energía superior a 1900 Joules [J] sin proporcionarnos desconexión de los equipos conectados en la red eléctrica, además se requiere de un sistema de protección secundario, el cual debe tener la capacidad de cortar la energía a un voltaje superior a los 160 [V], soportar una corriente de impulso de 52 [KA] y un poder de disipación de energía superior a los 1600 Joules [J], también deben ofrecer una protección de fase a neutro, de fase a tierra y de neutro a tierra.

DESCRIPCION.

La tecnología electromagnética en sistema de puesta a tierra para instalaciones eléctricas, en conjunto con sistemas de protección (primaria y secundaria), cuyo principio básico de funcionamiento es el verdadero acoplamiento electromagnético entre dos masas, a través de una eficiente y baja impedancia al planeta tierra apoyado por un equipo (protectores) que facilita el drenado de las corrientes nocivas.

CARACTERISTICAS:

- La tecnología que concibe una estructura de puesta a tierra y utilizando dos fuerzas naturales Vector de Newton (o de atracción gravitacional) y Vector Magnético (o polar terrestre) para polarizar su estructura y definir un cátodo superior y un ánodo inferior suficiente para interactuar en equilibrio (Fuerzas Eléctricas y Magnéticas).
- El acoplamiento de masas equipotenciales a tierra, por la vía de acopladores electromagnéticos dispuestos en mallas o circuitos que permitan la cancelación de gradientes de potencial (E,H) por cosenos de ángulos amortiguados dispuestos de forma tal que definan el objetivo del conductor a tierra como Neutro Ground, " 0 " lógico, protección catódica o pararrayos.
- La puesta a tierra que concibe el acoplamiento entre dos masas electromagnéticas (artificial del hombre) y (natural el planeta tierra) por la vía de la impedancia total referida a frecuencia.

$$Z_C + Z_I + Z_L = Z_T / F = 0$$

- La puesta a tierra concibe su operación en forma unidireccional (trayectoria a tierra) e impide la conducción de potenciales o señales procedentes del suelo o subsuelo terrestre. (Transferred Earth Potential) TEP. IEEE.
- Concepción en tiempo y frecuencia, suficiente para hacer equipotencial una masa electromagnética y deprimir (EMI) interferencia electromagnética y (RFI) interferencia de radiofrecuencia aumentando la compatibilidad y disminuyendo la susceptibilidad.

BENEFICIOS.

- Continuidad y operación de procesos.

- Calidad y estabilidad.
- Impedancia constante en un rango frecuencial (100-3.5 [Ghz]).
- Protección contra impulsos electromagnéticos.
- Protección catódica sin fuente externa y constante.
- Respeto absoluto al "0" lógico digital para protección total de equipo electrónico.
- Tierra física de protección electrónica (GND).
- Definición del factor de potencia.
- Eficiencia al transporte de energía.
- Sistema efectivo de disipación de energía indeseable a tierra.
- Operación de la verdadera velocidad de las computadoras.
- Robótica y automatización más eficiente.
- Audio y video con mayor calidad y definición.
- Transmisores con más potencia, alcance y calidad.
- Redes informáticas rápidas y seguras.

Con este sistema no es necesario contemplar dentro de su implementación variables de tipo natural y artificiales como son:

- Resistividad del terreno.
- Cambio de polaridad magnética
- Energización del suelo artificial.
- Corrientes telúricas naturales del planeta.
- Temporadas climatológicas humedad del suelo y subsuelo.
- Mantenimiento.

AREAS DE APLICACION.

- Residencial.
- Comercial.
- Industrial.
- Plantas de Generación de Electricidad.
- Estaciones de Radio y Televisión.
- Telefonía Analógica y Digital.
- Telemetría y Aeronavegación.
- Computación.
- Laboratorios.

- Hotelería.
- Hospitales y Centros Médicos.
- Electromedicina.
- Salas de Cine y Teatro.
- Etc.

SISTEMAS DE TIERRA ACTUALES (CLASICOS)

Instalación de puesta a tierra.

La temática de la puesta a tierra permite enfoques muy variados. El que se ha elegido en este trabajo pretende ir introduciendo la Norma, de forma paulatina y formal, en esta materia.

QUE ES UNA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA.

La unión eléctrica con la tierra, de una parte de un circuito eléctrico o de una parte conductora perteneciente al mismo, se efectúa mediante la instalación de puesta a tierra que, es “el conjunto formado por electrodos y líneas de tierra de una instalación eléctrica”.

“Las instalaciones de puesta a tierra estarán constituidas por uno o varios electrodos enterrados y por las líneas de tierra que conecten dichos electrodos a los elementos que deben quedar puestos a tierra”.

FUNCIÓN Y OBJETIVOS ELEMENTALES DE UNA INSTALACIÓN DE PUESTA A TIERRA.

La función de puesta a tierra de una instalación eléctrica es de forzar la derivación, al terreno, de las intensidades de corriente, de cualquier naturaleza que se puedan originar, ya se trate de corrientes de defecto, o debidas a descargas atmosféricas, de carácter impulsional.

Con ello se logra:

- Limitar la diferencia de potencial que, en un momento dado, puede presentarse entre estructuras metálicas y tierra.
- Posibilitar la detección de defectos de tierra y asegurar la actuación y coordinación de las

protecciones eliminando o disminuyendo, así, el riesgo que supone una avería para el material utilizado y las personas.

- Limitar las sobretensiones internas (de maniobra, transitorias y temporales) que pueden aparecer en la red eléctrica, en determinadas condiciones de operación.
- Evitar que las tensiones de frente (impulsos) que originan las descargas de los rayos, en el caso de las instalaciones de exterior y, particularmente, en líneas aéreas.

La circulación de las intensidades mencionadas por la instalación de puesta a tierra pueden originar la aparición de diferencias de potencial entre ciertos puntos, por ejemplo, entre la instalación de puesta a tierra y el terreno que la rodea o entre dos puntos, por ejemplo, entre la instalación de puesta a tierra y el terreno que la rodea o entre dos puntos del mismo, por cuya razón debe concebirse la instalación de puesta a tierra para que incluso con la aparición de las diferencias de potencial mencionadas se cubran los siguientes objetivos:

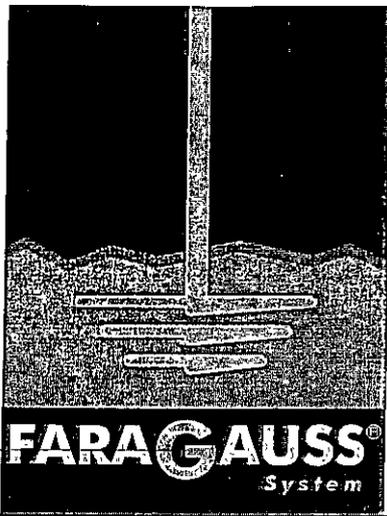
- Seguridad de las personas.
- Protección de las instalaciones.
- Mejora de la calidad de servicio (alta calidad y eficiencia eléctrica).
- Establecimiento y permanencia de un potencial de referencia (equipotencialidad efectiva).

Debe hacerse especial énfasis en que la seguridad de las personas es lo que verdaderamente preocupa y se constituye en el fin primordial de la instalación de puesta a tierra, lo que significa que no se deje de reconocer la importancia de los otros tres objetivos.

Así mismo, "toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en ningún punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma las personas en tránsito corran el riesgo de que puedan estar sometidas a una tensión peligrosa, durante cualquier defecto de la instalación eléctrica o en la red unida a ella".

Ello induce, equívocamente, a pensar en la posibilidad de una seguridad absoluta. A este respecto, es oportuno recoger la afirmación que, sobre el riesgo contiene la IEEE Std.80. Su traducción dice así: "Un somero análisis mostrará que es absolutamente imposible, a menos que se abandone totalmente la distribución de energía eléctrica, prevenir en todo momento, en todo lugar y bajo todas las circunstancias, la presencia de tensiones peligrosas. Sin embargo, este hecho no releva al ingeniero de la responsabilidad tanto razonablemente se pueda. Afortunadamente, en la mayoría de los casos mediante un diseño cuidadoso e inteligente esa probabilidad puede reducirse a un valor extremadamente bajo". En relación con la seguridad de las personas, no se derivará ningún peligro para las mismas en una instalación de alta tensión cuando nunca puede llegar a "puentear" con su cuerpo dos puntos con una diferencia de potencial capaz de establecer la circulación de una intensidad de corriente con una duración tal que determine efectos fisiológicos peligrosos.

Al hacer referencia a la acción del "puenteo" de dos puntos con el cuerpo, se está pensando en el comportamiento profesional del personal actuante sobre la instalación y en el que se podría llamarse comportamiento normal de las personas ajenas a la instalación o a su explotación. En este punto conviene remarcar, que las puestas a tierra no garantizan la seguridad total de las instalaciones eléctricas ante los incalculables transitorios y fenómenos, reacciones anómalas, imprudencias y, aún, despropósitos que las personas pueden llevar a cabo con respecto a una instalación de alta tensión y que, por otro lado, incluso serán elementos coadyuvantes a aumentar la gravedad en caso de accidentes por contactos directos. "Toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en cualquier punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma, donde las personas puedan circular o permanecer, éstas queden sometidas, como máximo, a las tensiones de paso y contacto (durante cualquier defecto en la instalación eléctrica o en la red unida a ella)".

**Contenido:**

- ❖ La limitación de la resistividad del suelo

LA LIMITACIÓN DE LA RESISTIVIDAD DEL SUELO

Con visión hacia el amanecer del siglo XXI, el desarrollo de la tecnología electrónica se prevé impresionante, ya que continúa la revolución innovadora de la microelectrónica que simplifica espacios y procedimientos, sin embargo, exigirán redes de suministro de energía eléctrica bien definidas para otorgar una excelente calidad.

Hoy día podemos apreciar descontrol, confusión e inconformidad, ya que éstas nuevas tecnologías, aplicadas en el campo de la productividad, fallan, provocando costosos errores y paro de actividades, con las pérdidas que esto origina; y surge la pregunta; ¿Porqué fallan frecuentemente las computadoras o bien los sistemas de automatización y control industrial, los equipos electromédicos o de telecomunicación o una modesta o gigantesca red de voz y datos? ; la respuesta está en la compatibilidad y susceptibilidad de todos y cada uno de los protagonistas, incluyendo aparatos, accesorios, equipos, sistemas y seres humanos. Para comprender mejor estos conceptos, es conveniente definirlos:

Compatibilidad: Se define como la acción o funcionamiento óptimo de cada componente sin interferir o afectarse entre sí.

Susceptibilidad: La definimos como la tendencia de sensibilidad o vulnerabilidad de cada protagonista.

Considerando los conceptos anteriores, podemos apreciar que en una comunidad interactuamos seres humanos con transformadores de potencia, motores, sistemas de iluminación, computadoras, equipos de telecomunicación, robótica, etc.

La comunidad hoy en día utiliza energía eléctrica para el desarrollo de sus actividades, la cual, para un eficiente y continuo funcionamiento debe ser de calidad (power quality); por lo cual sus instalaciones pasivas (gabinetes, tuberías, acero de construcción, estructuras, etc.) y las activas (conductores de puesta a tierra, barras de unión, referencias de "0" lógico, etc.), deben de operar con un eficiente acoplamiento a tierra, procedimiento aparentemente sencillo y sin importancia, sin embargo, como una dramática paradoja, hoy día y para el futuro resulta ser el culpable de daños, errores, fallos, desperfectos, pérdidas y destrucción de equipo y seres humanos.

Ante una problemática mundial de esta naturaleza, tenemos que definir la resistividad del suelo.

Veamos porqué; si analizamos las diferentes normas internacionales para instalaciones eléctricas nos encontramos como método común para medir el grado de eficiencia o ineficiencia de un sistema de puesta a tierra la determinación de la resistividad o anticonductividad del suelo de nuestro planeta, caracterizándolo en unidades óhmicas sobre metro. Estos métodos pueden ser entre otros:

Método del electrodo auxiliar de resistencia despreciable:

- a). Procedimiento voltamperimétrico.
- b). Procedimiento con medidor de tierra.

Método de la caída de tensión:

- a). Procedimiento voltamperimétrico.
- b). Procedimiento con medidor de tierra.

Los métodos se basan principalmente en determinar la resistividad del suelo y el subsuelo 50 cm y 1 m.

Sin embargo, es importante reflexionar sobre lo siguiente.

Si verificamos la resistividad de propagación mediante un terrómetro bajo el método de Wenner nos encontramos ante una plataforma de puesta a tierra y determinaríamos lo que se muestra en la figura 1 (ejemplo genérico)

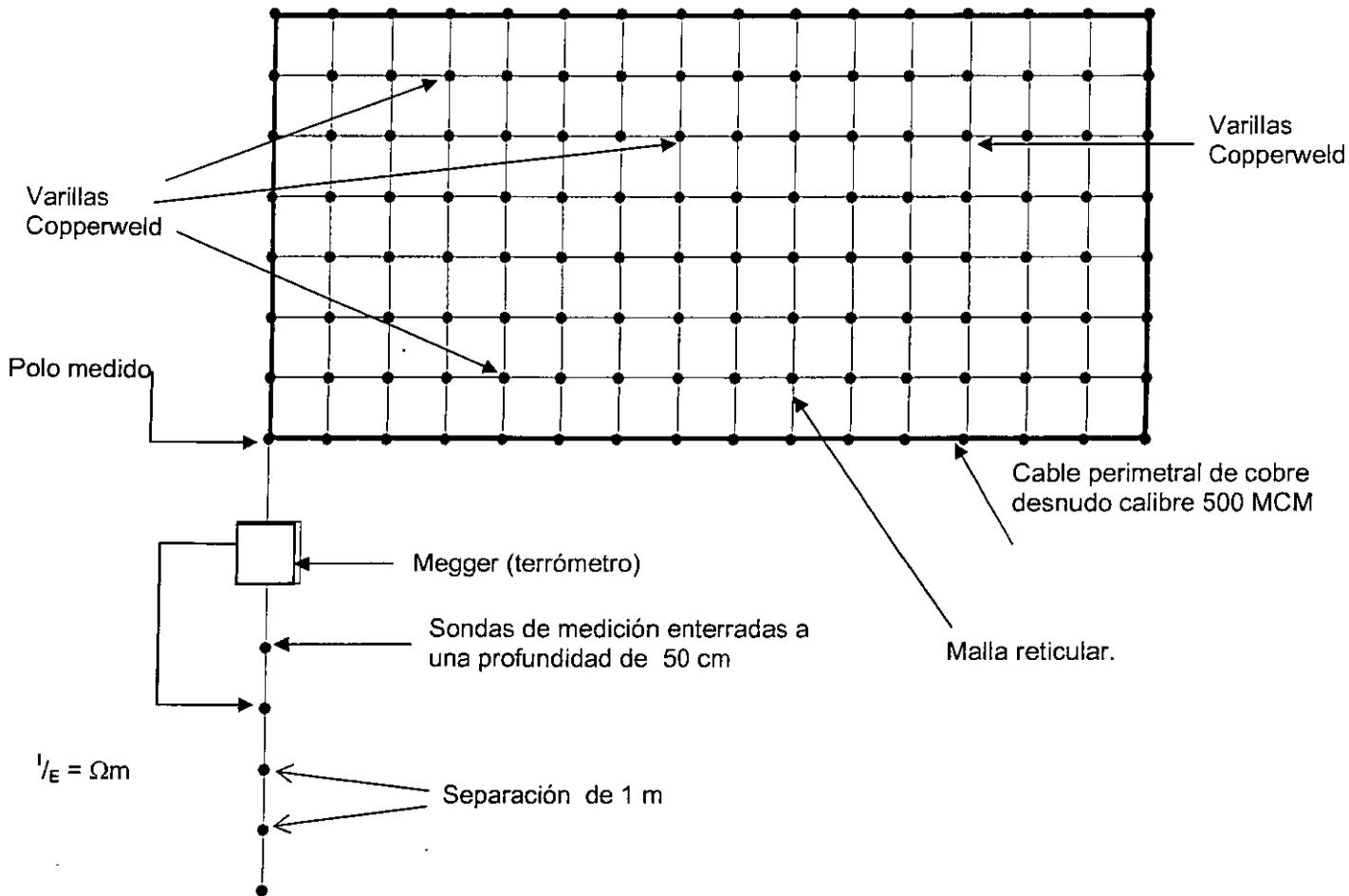


Figura 1

Sin tomar en cuenta el "estudio" previo al diseño de la plataforma o malla, de la resistividad del terreno, el cual pudiera haberse considerado homogéneo sin serlo en la realidad, y sujeto a algunas variables, o todas impredecibles como:

- a). Polarización magnética del terreno de acuerdo a principios de prospección magnética terrestre, involucrando campos seculares.
- b). Hora de la medición.
- c). Estación del año.
- d). Temperatura ambiente.
- e). Temperatura del suelo.
- f). Temperatura del subsuelo (2 m promedio).
- g). Humedad relativa del suelo.
- h). Humedad relativa del subsuelo (2 m promedio).
- i). Clase y tipo del equipo de medición.
- j). Clase, tipo y edad de las sondas empleadas.
- k). Continuidad de conectores y conductores.
- l). Estabilidad y continuidad de la energía empleada.
- m). Altitud sobre el nivel del mar.
- n). Presión barométrica.
- o). Constante de actividad telúrica (geoeléctrica).
- p). Constante de actividad geomagnética (magnetósfera superficial).

Si el previo estudio consideró las variables anteriores y determinó un valor para aplicarse al cálculo de la corriente de corto circuito, misma que consideró en su proceso fisicomatemático las siguientes razones de diseño:

1. Corriente estacionaria.
2. Corriente casi estacionaria.
3. Corriente de alta frecuencia.
4. Corriente transitoria de impulso.

Al observar el método de medición voltamperimétrico deducimos una comprobación sustentada a "X" hora y "Y" variables y en un solo vector como se aprecia en la Figura 2.

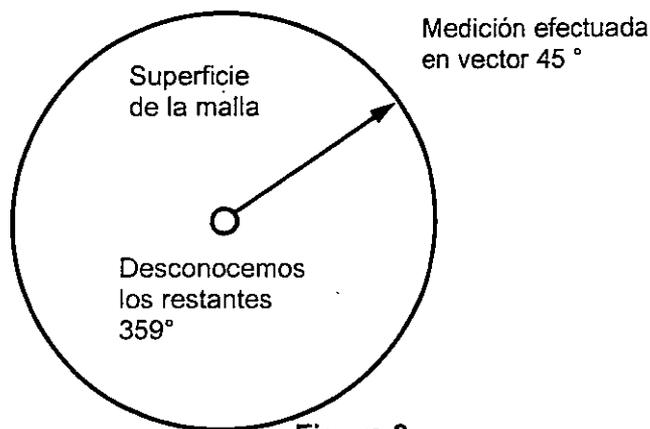


Figura 2

Considerando obtener un resultado de la medición ohm/metro en un solo vector de resistencia de propagación, la misma estaría sujeta a las variables anteriormente expuestas, y de acuerdo al procedimiento voltamperimétrico obtendríamos la medición de la impedancia resistiva o anticonductiva de propagación (Z_R), desconociendo el valor útil representado por la impedancia total ($Z_R+Z_C+Z_L$), además, referida a frecuencia. El conocimiento del comportamiento frecuencial o en tiempo de una red de puesta a tierra para el siglo XXI es vital y requisito indispensable debido al siguiente teorema:

La suma algebraica de las corrientes portadoras de radiofrecuencia en el aire es igual a cero.

El anterior teorema se fundamenta en el hecho de existir hoy día más potencia radiada que conducida. (La suma de potencias en la magnetósfera de radiofrecuencias emitidas por radiodifusoras, televisoras, banda civil, celulares, radares, satélites, etc.)

Esta energía radiada como energía efectiva se deposita y se transforma en la materia, originando turbulencia eléctrica y gradientes de potencial de acuerdo al vector de Poynting, representado y desarrollado en una o varias áreas unitarias de una malla o red de conductores de confinamiento a tierra con alta impedancia con respecto a ésta y sobretodo a altas frecuencias que convierten a un tradicional sistema de tierra en una poderosa antena receptora de RFI (interferencia de radiofrecuencia) y de EMI

(interferencia electromagnética). Este fenómeno es acrecentado por un supuesto aliado de los sistemas ortodoxos de puesta a tierra, convertido hoy en un peligroso enemigo llamado manto freático, mismo que refleja la energía radiada e incrementa la capacitancia entre las masas a acoplar.

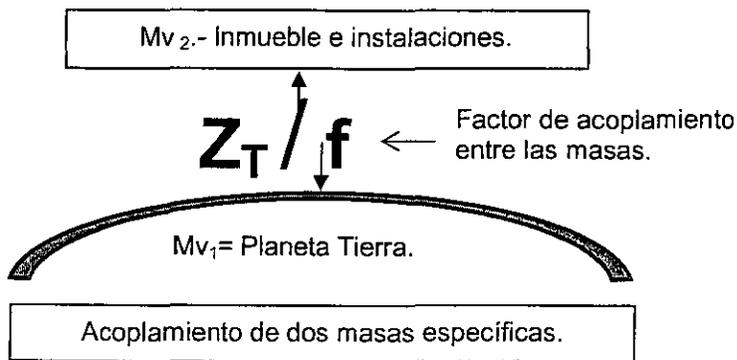


Figura 3

Como podemos apreciar en la figura 3, el objetivo de puesta a tierra de instalaciones, volúmenes y masas; consiste en acoplarlas al suelo y al subsuelo del planeta, para este fin requerimos un factor de acoplamiento entre masas, identificado por la impedancia total de la masa a acoplar y la máxima admitancia dentro de un espectro frecuencial del suelo y subsuelo.

Para responder efectivamente a estos requisitos, se requirió desarrollar una nueva tecnología de acoplamiento a tierra suficiente para caracterizar en función óptima los siguientes conductores involucrados en una red de puesta a tierra.

1. Conductor de puesta a tierra de funcionamiento. Denominado Xo o Neutro.
2. Conductor de puesta a tierra para protección y seguridad humana y de animales útiles. Denominado tierra física.
3. Conductor de unión equipotencial. Para convertir en una sola masa eléctrica y magnética la heterogénea comunidad, y deprimir lazos de corriente, gradientes de potencial, energía electrostática o impulsos electromagnéticos.
4. Conductor de puesta a tierra de servicio. Destinado a otorgar principalmente una

referencia de "0" potencial o "0" lógico a tarjetas electrónicas, sistemas, equipos, accesorios y componentes electrónicos, electromecánicos, cibernéticos, de control lógico programable, electromédicos y de telecomunicaciones.

5. Conductor de puesta a tierra para confinar y disipar descargas atmosféricas (Rayos).
6. Conductor de puesta a tierra para otorgar a masas, volúmenes, estructuras, tuberías o gabinetes metálicos, energía catódica suficiente para abatir o cancelar gradientes de potencial o corrientes circulantes que aceleren procesos químicos y originen efectos galvánicos causando oxidación, corrosión y degradación de metales en forma acelerada.

Al involucrar y definir en su misión a cada uno de estos conductores, se requiere la implantación de una nueva ingeniería de puesta a tierra, misma que permita la compatibilidad óptima de los mismos con la simultánea atenuación de sus respectivas susceptibilidades y sobretodo con unidireccionalidad preferente a tierra.

Para el logro de estos fines es necesario romper paradigmas tales como:

- a). No depender únicamente de la conductividad o resistividad del suelo o subsuelo para obtener la propagación o disipación y traspaso de corrientes eléctricas a tierra de diversas naturalezas.
- b). Mantener en forma estable y continua el valor o factor de acoplamiento de impedancia total contra frecuencia (40Hz-3,5GHz.)
- c). Polarizar el suelo y subsuelo en forma coercitiva con el fin de cancelar los campos multipolares suplementarios instantáneos que originan dipolos regionales y éstos variaciones seculares que impiden la homogeneidad magnética del suelo y subsuelo.
- d). Crear una red de confinamiento a tierra equipotencial con ángulos de fase autónomos en sus distintos

conductores, acoplados mediante admitancias contra frecuencia, que permita el equilibrio en tiempo integral basado en una frecuencia de corte del orden de $1/6$ de la longitud de onda (λ) de 1 MHz (50 m).

- e). Operar un sistema de confinamiento y disipación de descargas atmosféricas en campos E y H que impida la reflexión de la descarga por la vía de un acoplamiento sincronizado en fases (*Ley de Lenz*).
- f). Reemplazar electrodos pasivos de puesta a tierra por magnetoactivos de polarización definida y continua.
- g). No utilizar aceleradores químicos para el incremento de la conductividad eléctrica del suelo y subsuelo contribuyendo a no degradar nuestro ecosistema.

Los requisitos anteriores se fundamentan en la debilidad y obsolescencia actual de los tradicionales sistemas de puesta a tierra.

Preguntas:

¿Los sistemas tradicionales de puesta a tierra están concebidos para sincronizar fases y abatir fenómenos de interferencia electromagnética (EMI) o de interferencia de radiofrecuencia (RFI)?

¿ Están diseñados para el control de cargas no lineales?

Razonamientos: (Véase Figura 5)

Entorno:

- a). Potencia radiada (RFI) y (EMI) depositándose en conductores.
- b). Corrientes telúricas y variaciones magnéticas seculares afectando la longitud de onda (λ) de la varilla Copperweld.
- c). Conductividad eléctrica polidireccional del terreno variable permanente.

Análisis de los electrodos tradicionales:

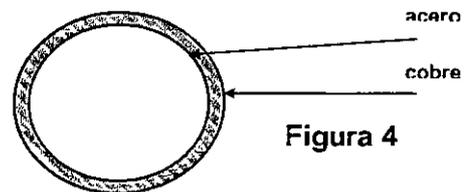


Figura 4

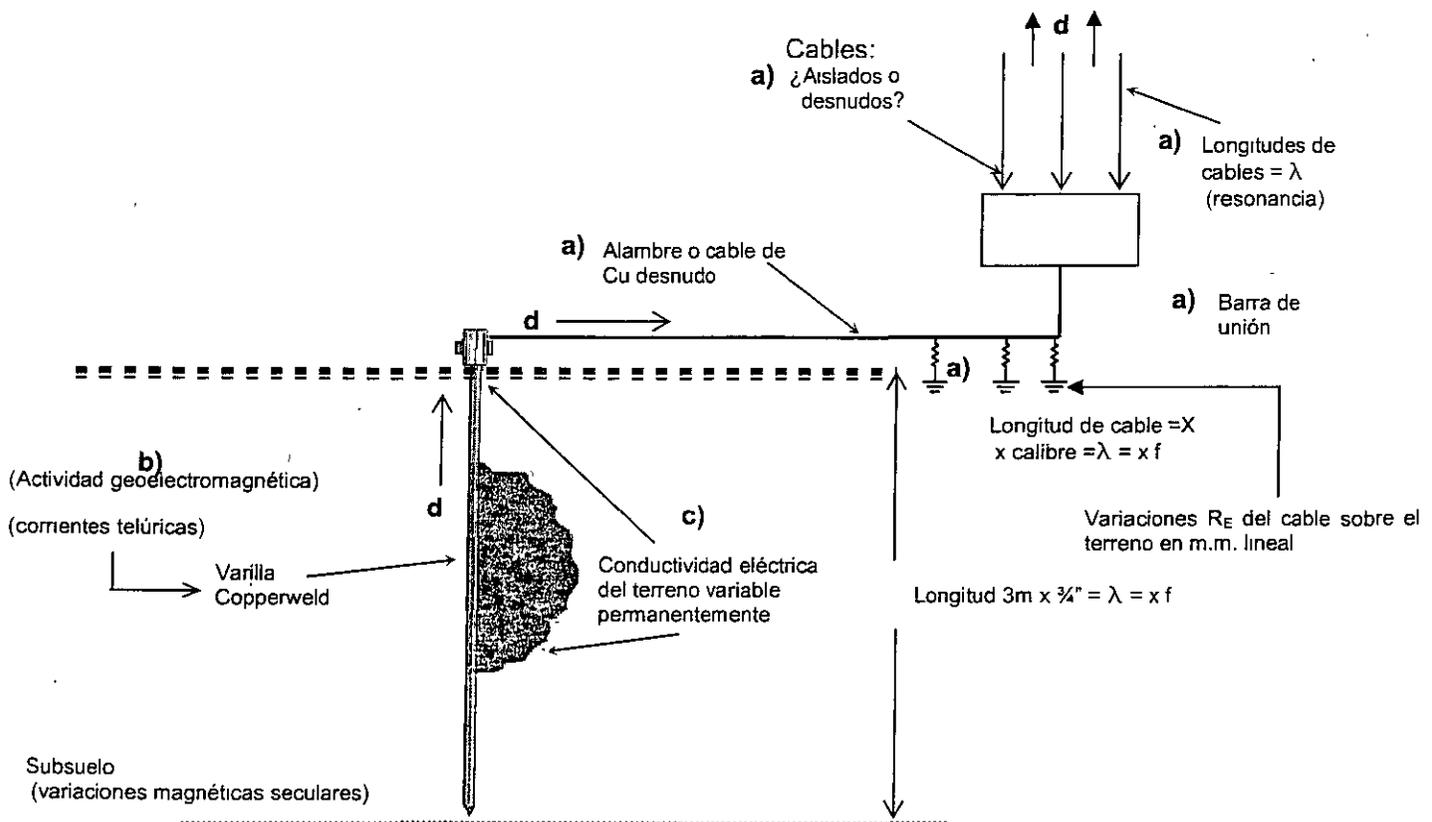


Figura 5

Razonamientos:

- a). La varilla Copperweld es una varilla de acero bañada con una película de cobre, (capa de 10 milésimas de mm) por lo cual es muy vulnerable a la degradación, iniciando el proceso su débil y mal adherida capa de cobre para quedar en poco tiempo (de acuerdo a la salinidad del terreno) en una varilla de acero de distintas características eléctricas.
- b). La varilla Copperweld basa su funcionamiento en la longitud de la misma, por lo que disminuiría en proporción a su largo, la resistencia de propagación, sin embargo, la no-homogeneidad del terreno impide obtener valores constantes y polidireccionales.

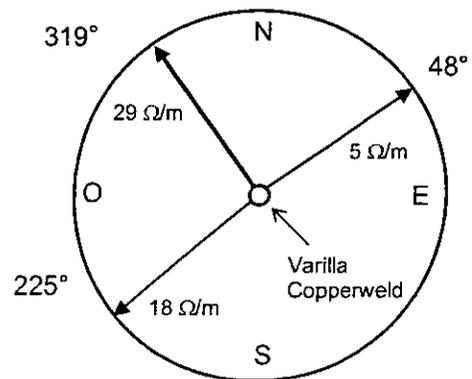


Figura 6

- c). Además del inciso anterior la varilla Copperweld en su longitud embebida en el subsuelo, registra fenómenos electromagnéticos que originan impredecibles cambios en su polarización, propiciando gradientes de potencial entre otras varillas o sistemas, incrementándose la posibilidad de descargas electrostáticas entre conductores simétricos y asimétricos.

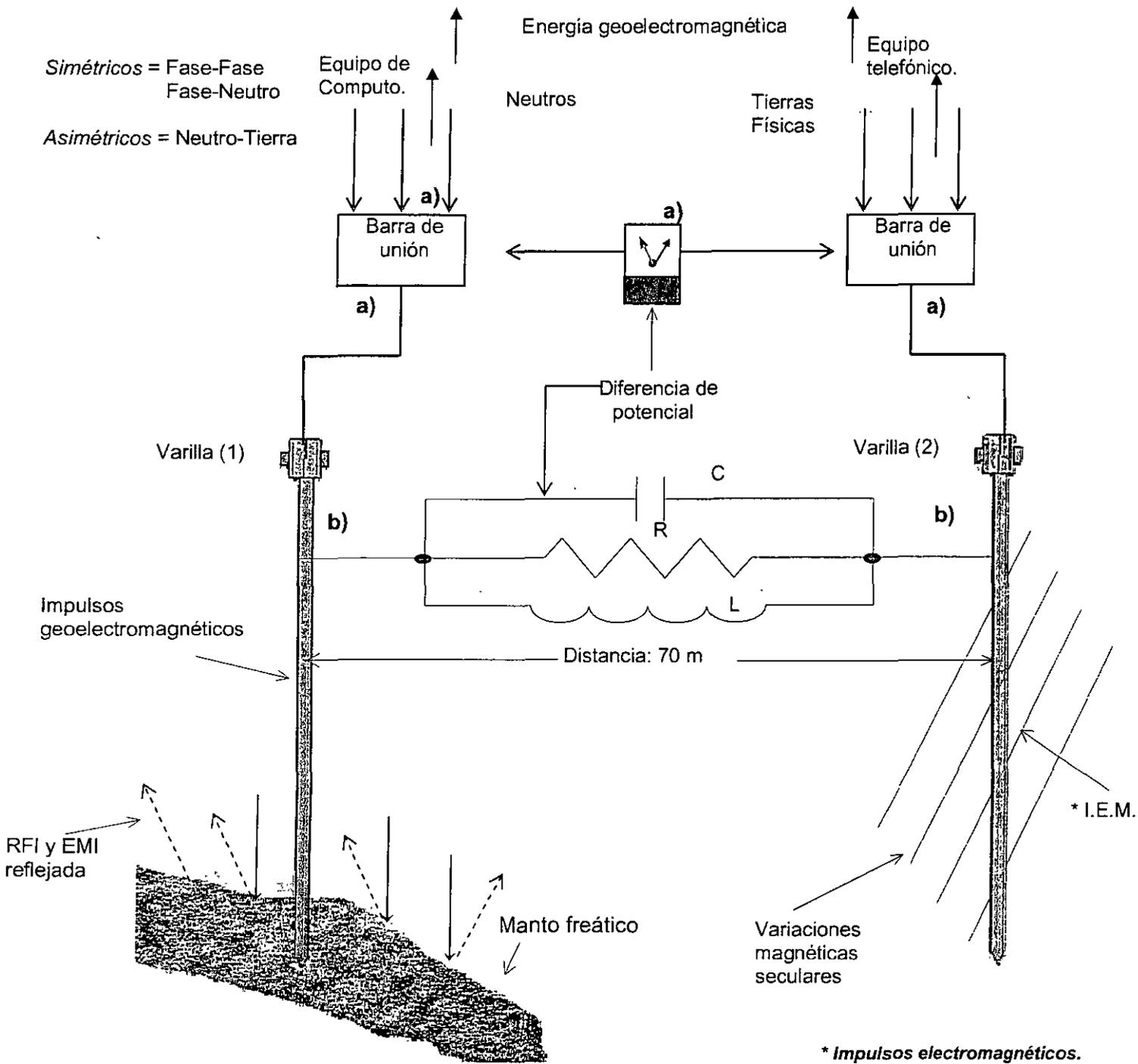


Figura 7

RFI = Interferencia de radiofrecuencia.
 EMI = Interferencia electromagnética.

d) Tanto las varillas (incluidas las electroquímicas), y las "picas" de acero galvanizado, las placas (verticales y horizontales de cobre o acero galvanizado), los anillos de alambre o cable de cobre desnudo, las mallas de alambre o cable de cobre desnudo; son atacados de acuerdo a la prospección magnética terrestre por "bahías magnéticas" las cuales consisten en ser perturbaciones del campo magnético terrestre de origen natural (planeta) o artificial (hombre), con periodos del orden de magnitud de un minuto y pulsaciones de muy cortos periodos (algunos segundos y aún menores); por lo cual los sistemas tradicionales de puesta a tierra FALLAN, ya que han sido concebidos en forma polidireccional, esto es, con dirección tanto de la carga al suelo, como de este a la carga. Debido al desarrollo de la tecnología electrónica nos hemos dado cuenta que nuestro planeta tierra es capaz de hacer fallar o destruir nuestras instalaciones, enviándonos turbulencias magnéticas por el punto más olvidado y vulnerable de nuestras instalaciones; afectando incluso al propio ser humano.

¡El sistema de puesta a tierra!



TRANSFORMADORES DE POTENCIA.

En toda clase y tipo de instalación eléctrica el suministro de energía se realiza a través de los Transformadores de Potencia, por lo cual la eficiencia y calidad de la energía estará en proporción a la confiabilidad de la instalación.

Las reglas de operación han cambiado dramáticamente en los últimos diez años, debido a la incorporación en la carga de unidades complejas no lineales, sumamente delicadas y sensibles, simultáneamente generadoras de ruido electromagnético (distorsión) (equipo electrónico).

Para soportar los nuevos requisitos (reglas de operación) de los Transformadores de Potencia de cargas híbridas (lineales y no lineales), con tensión, flujo magnético y corriente contra frecuencia, debemos sujetarnos a los siguientes principios.

- a) Núcleo de Transformador con materiales anisotrópicos (grano orientado) con su vector de dominio magnético orientado preferentemente al polo norte magnético terrestre.
- b) "Jaula de Faraday", bote o carcasa del transformador bien acoplada a tierra mediante una muy baja impedancia total, ($Z_R + Z_C + Z_L$) contra frecuencia en un rango mínimo de 40Hz a 3,5GHz (véase figura 1) Acoplados sus -180° y $+180^\circ$.
- c) Banco de resistencias (en su caso) para la limitación de corriente de corto, con gabinete puesto a tierra bajo las mismas condiciones del inciso b).
- d) X_0 o Neutro de la estrella del secundario del transformador puesto a tierra con trayectoria efectiva o mediante una impedancia resistiva, bajo las mismas condiciones del inciso b)(véase figura 2).
- e) Utilización de un acoplador de admitancias con el propósito de sincronizar grados eléctricos entre campos (E) y (H) que permitan acoplar la masa y volumen electromagnéticos (transformador), a la masa y volumen geoléctrica (planeta tierra) por la vía de sus susceptancias variables, sincronizando admitancias con el fin de obtener una impedancia total de acoplamiento en valor constante y estable.

Contenido:
Reflexiones y conclusiones sobre la instalación y operación de Transformadores de Potencia.

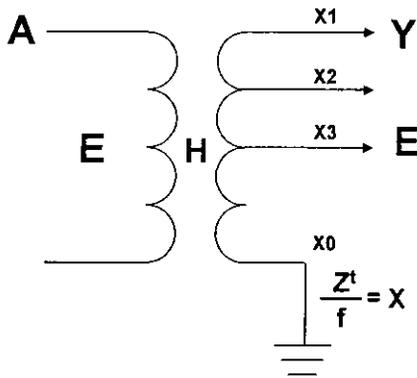


Figura 1. X_0 sólidamente puesto a tierra.

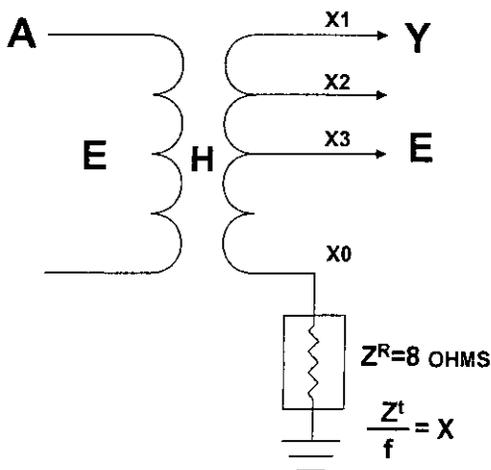
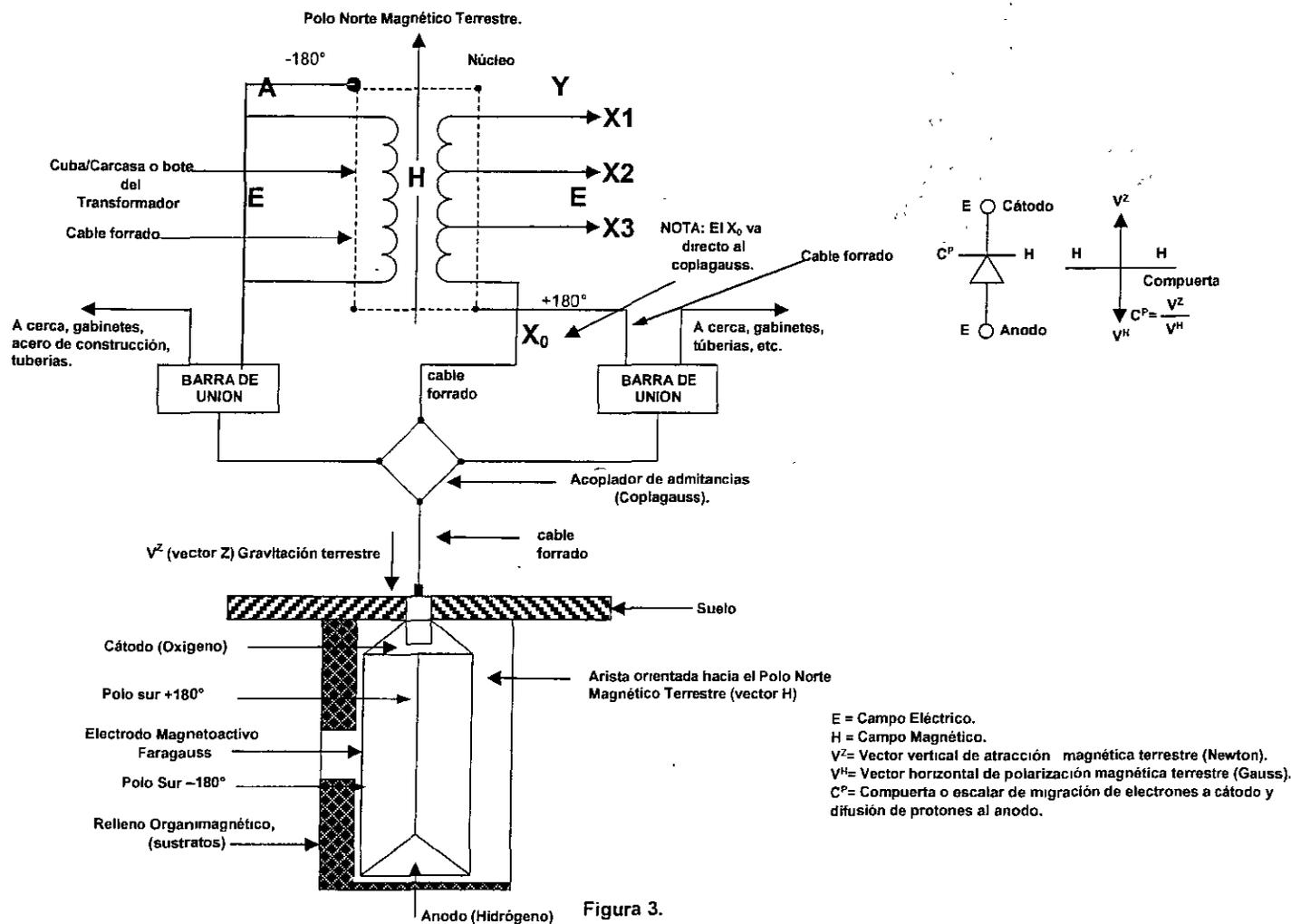


Figura 2. X_0 puesto a tierra por medio de un banco de resistencias para limitar la magnitud de la corriente de falla.





Beneficios de la tecnología Faragauss aplicada a Transformadores de Potencia

- Disminución de la reluctancia en el núcleo del transformador. (Menores pérdidas magnéticas).
- Disminución de la Resistencia de los arrollamientos, primario y secundario del transformador (menores pérdidas eléctricas).
- Disminución de pérdidas por histéresis y por corrientes de Foucault, por lo cual se atenúa el flujo por dispersión (menores pérdidas electromagnéticas)(menor índice de 3th armónica en cuba y X₀).

Efectos: (conclusiones).

- Menor resonancia.
- Menor temperatura de operación.
- Atenuación del fenómeno trifásico de la tercera armónica (180 Hz) menor * T.H.D.
- Mayor eficiencia de Potencia Reactiva (KVAR).
- Mayor vida útil del transformador.
- Menor ruido sensible al ser humano.
- Real capacidad en KVA para conectar una carga de igual potencia
- Menor contaminación electromagnética al entorno del transformador

* T.H.D.= Total Harmonic Distortion (Distorsión armónica Total)

Dr. Fernando Maldonado López
AWD

Copyright© 1999.



RUIDO ELÉCTRICO / INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

El ruido eléctrico, también llamado interferencia electromagnética, o EMI, es una señal eléctrica despreciable que produce efectos indeseables y por otro lado trastornos en los circuitos de un sistema de control. La interferencia electromagnética o EMI puede ser radiada o conducida. Cuando el ruido que se origina en una fuente y viaja a través del aire se le llama *radiación* de EMI. Las señales de radio y TV pueden ser fuentes de radiación de EMI. El ruido *conducido* viaja a través de un conductor, como una línea de energía. El ruido original puede haber sido radiado, depositado en las líneas y entonces conducido.

Contenido:
Reflexiones y conclusiones
sobre la Interferencia
Electromagnética.

FUENTES DE INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

El ruido en las líneas eléctricas es el problema más común y las fuentes que la causan son múltiples. Entre las fuentes a considerar están:

- Interrupción de cargas
- Transmisión de estaciones de Radio y canales de TV
- Puesta a tierra de los equipos pobre o nula.
- Descargas atmosféricas (rayos).
- Operaciones de equipo pesado.
- Motores eléctricos funcionando cerca de equipo electrónico sensible.



Contenido:
Reflexiones y conclusiones
sobre la Distorsión Armónica.

FUENTES DE DISTORSIÓN ARMÓNICA

Muchos controles de estado sólido para motores y fuentes de energía para computadoras pueden ocasionar que el voltaje suministrado a otros equipos se distorsione tanto que sus componentes electrónicos sensibles fallen en su funcionamiento o funcionen de manera intermitente.

Las causas más comunes para esos problemas llamados armónicos son:

- Transformadores trifásicos de potencia.
- Operación de cargadores de baterías.
- Computadoras y copadoras.
- Controles de velocidad variable (VSD)
- Soldadoras de arco.
- Alumbrado fluorescente con balastros electrónicos.
- Fuentes de alimentación conmutadas, etc.

SINTOMAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN EQUIPO ELECTRÓNICO

Aunque el equipo electrónico es la principal fuente de la distorsión de la corriente, éste también puede ser una víctima. La distorsión de la corriente puede interferir con la integridad del flujo de los datos. Como la Corriente Alterna que fluye a través de un conductor generando un campo electromagnético. Entre más alta sea la frecuencia de la corriente (por ejemplo, en presencia de armónicas), más alta será la frecuencia relativa al campo

electromagnético. Esos campos pueden perturbar los flujos de datos ocasionando su pérdida, errores, y rangos de transmisión más lentos.

La distorsión de la corriente interacciona con la impedancia del sistema, creando distorsión de voltaje. La distorsión del voltaje puede interferir con la operación del suministro de energía, causando retardos de tiempo, restablecimientos del equipo, y daños al suministro de energía. Los controladores de velocidad variable de tres fases ocasionan un tipo de distorsión de voltaje llamada escalonamiento de línea. El escalonamiento de línea perturba todo tipo de circuitos de tiempo creando cruzamientos de cero adicionales sobre la forma de onda de voltaje.

SINTOMAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN MOTORES

Los motores son sensibles a la distorsión del voltaje. En esencia, cuando un voltaje distorsionado excita un motor, se comienzan a inyectar frecuencias más altas en el estator. Esto crea corrientes de armónicas en los devanados, lo que consecuentemente puede llevar a varios problemas serios.

- Primero, las corrientes de alta frecuencia ocasionan temperaturas de operación más altas en los devanados debido a pérdidas de corrientes de eddy. Esas temperaturas más altas no dependen del nivel de corriente efectiva RMS, de esta manera, los motores se sobrecalentarán aunque no estén cargados totalmente.
- Segundo, los voltajes de armónicas pueden producir exceso de vibración tanto en motores de tres fases como en los de una fase. La vibración ocasiona un mayor uso y desgaste de los baleros o chumaceras, esto también puede influir

en la confiabilidad de funcionamiento de la flecha del motor.

Los motores de velocidad variable están ganando popularidad. Normalmente, el control electrónico y el motor están incluidos en un paquete del mismo proveedor. Sin embargo, si el control es un dispositivo aparte que se agregó a un motor ya existente, entonces deberá estudiarse la calidad del voltaje que el controlador alimentará al motor.

También, deberá considerarse que los controladores de velocidad variable son dispositivos electrónicos. Dichos dispositivos son susceptibles por naturaleza a las perturbaciones en la calidad de la energía, y crean distorsiones de corriente. La inducción de más distorsión de corriente dentro de un sistema de potencia puede crear otras cargas y el sistema de distribución por sí mismo estará sujeto aún a más problemas.

SINTOMAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN ALUMBRADO

Dependiendo del tipo de sistema, el alumbrado puede ser víctima y/o culpable de la distorsión armónica. Todos los sistemas de alumbrado no incandescentes crean distorsión en la corriente. Los sistemas fluorescentes estándares y de HID (High Intensity Discharge – Descarga de alta intensidad) crean cerca del 15 % al 20 % de la distorsión armónica total (THD). Las balastras electrónicas pueden crear desde menos del 10 % hasta más del 40 % de THD, dependiendo del diseño. Esto significa que usando estos sistemas se induce distorsión de corriente dentro del sistema de potencia.

Puesto que dichas luminarias se encuentran casi en todos lados, se puede decir que seguramente la distorsión armónica existe virtualmente en todas las instalaciones de negocios.

Sin embargo, la presencia de distorsión de corriente no necesariamente se traduce en problemas. Los problemas resultan solamente cuando la distorsión de corriente tiene un efecto indeseable sobre el equipo. Con bastante frecuencia la distorsión en los sistemas de iluminación no es problemática.

La presencia de corrientes altas en el neutro puede crear una distorsión de corriente significativa. Si esta corriente en el neutro quema el conductor, se puede crear un pico severo de voltaje. Tal como los voltajes pueden dañar fácilmente los sistemas de iluminación. De esta manera, la distorsión de corriente afecta indirectamente a los sistemas.

SINTOMAS DE DISTORSIÓN ARMÓNICA EN EQUIPO DE DISTRIBUCIÓN.

Los componentes de los sistemas de distribución de potencia conducen corrientes y por consiguiente, son sensibles a la distorsión de corriente. Esta distorsión nos lleva a evaluar nuevamente muchos de los conceptos normales que se refieren a electricidad, especialmente con respecto al sistema de potencia.

Primero y principalmente, la distorsión de corriente y voltaje deben medirse con un equipo RMS real. Si no se especifica como RMS real, probablemente es un medidor de tipo promedio que puede proveer datos seriamente imprecisos.

Segundo, debemos cambiar nuestro concepto de carga de transformador. Cuando un transformador conduce corriente distorsionada, genera más calor por Ampere que si la corriente fuera sinusoidal. Esto significa que los transformadores se sobrecalentarán aún si no están totalmente cargados

eléctricamente. Debe considerarse en la disminución de la potencia del transformador y el uso de transformadores tipo K.

Tercero, la sabiduría común dice que si un sistema de tres fases tipo estrella está balanceado, no habrá corrientes en el neutro. Cuando se presentan armónicas de corriente, algunas de las armónicas no se cancelan en el neutro, originando lecturas de alta corriente aún cuando el sistema está balanceado.

Pueden ser posibles corrientes tan altas como del 200 % de los conductores de fase.

Finalmente, las corrientes armónicas pueden causar que los cortacircuitos y fusibles operen incorrectamente. Aún pensando que las corrientes no exceden sus límites, los cortacircuitos se dispararán. Frecuentemente esto es debido al nivel de la corriente que es medida con un medidor tipo promedio. El medidor puede indicar solamente 15 Amperes, mientras que realmente existen más de 27 Amperes. El cortacircuitos está funcionando correctamente, el medidor no.

También hay ocasiones en que las altas corrientes de cargas electrónicas disparan los cortacircuitos. Si los cortacircuitos se disparan determinan si hay una carga no lineal encendida al mismo tiempo

SOLUCIONES PARA LA DISTORSIÓN ARMÓNICA

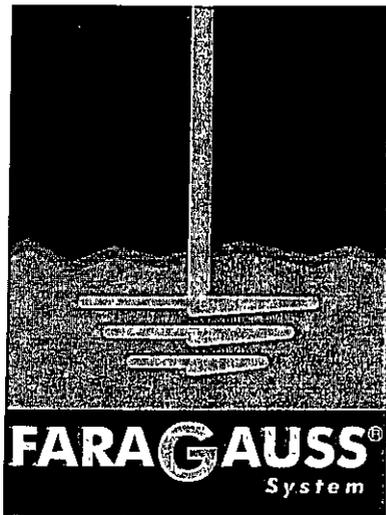
Las soluciones para los problemas de distorsión armónica caen dentro de dos categorías – soluciones de cableado y soluciones de equipo.

Las soluciones de cableado incluyen el uso de circuitos especiales.

Las soluciones de equipo varían y se puede encontrar un resumen en el libro esmeralda de la IEEE.

- La solución Faragauss, consiste en acoplar la cuba o carcasa del transformador en conjunto con el X_0 por medio de un dispositivo denominado Sincronizador de Admitancias Coplagauss (SAC), de forma tal que deprima la radiación y conducción de la 3th armónica al resto del cableado, al atenuar este fenómeno natural de todo transformador de tres fases, impedimos la generación óptima de ondas complejas de Fourier, (choques de armónica non 3th. con pares); por lo cual al controlar en valor mínimo la 3th. armónica, disminuimos la T.H.D. o Distorsión Armónica Total. Simultáneamente una red de acopladores (Coplagauss) permitirá la atenuación por la utilización de una frecuencia de corte en el cableado a tierra ($1/6 \lambda$ de 1 MHz = 50 m), la proliferación y resonancia de armónicas de corriente y voltaje, disminuyendo el efecto Joule (I^2R) en el cableado y mejorando la calidad de la potencia eléctrica.





Contenido:
Reflexiones y conclusiones
sobre Transitorios

INTERRUPCIONES / FALTA DE CORRIENTE

El término *falta de corriente* cada vez se usa menos. Éste ha sido reemplazado en gran medida por la palabra *interrupción*. El libro esmeralda define una interrupción como, "La pérdida completa de voltaje por un período de tiempo". Para ayudar a entender que tan largo es este "período de tiempo" se deben usar los adjetivos como "Momentáneo", "Temporal", y "Sostenido".

- Momentáneo, este periodo de tiempo es muy corto, entre un cuarto de ciclo y algunos segundos, y normalmente es el resultado de la interrupción de grandes bloques de cargas.
- Temporal, este periodo de tiempo se refiere a un tiempo entre algunos segundos y algunos minutos. Estas interrupciones se originan de fallas en algún lugar de la red de distribución de energía eléctrica, pero puede restablecerse rápidamente el voltaje de operación a través de interrupciones y reconexiones.
- Sostenido, este es un periodo largo de tiempo. Una interrupción sostenida puede durar indefinidamente. Normalmente se requiere alguna forma de intervención manual para restablecer la energía en esta situación.

TRANSITORIOS

Un transitorio es un cambio "momentáneo" en el voltaje o corriente durante un periodo de tiempo muy corto. Este corto intervalo de tiempo es menor a 1 ciclo, o 16 mili segundos. Más a menudo, los transitorios son medidos en micro segundos antes que en mili segundos. Frecuentemente este transitorio es llamado "Pico" de voltaje.

El transitorio tiene un comienzo y un final aparte. Puede ocurrir a menudo o aún en intervalos regulares, pero éste tendrá un comienzo y un final.

Otro aspecto de los transitorios es que son tan "impulsivos" como "oscilatorios", lo cual se refiere a la forma del transitorio. Si el transitorio ocurre y el voltaje regresa a su valor total, es impulsivo. Si, por otro lado, el transitorio rebota, volviéndose más pequeño con cada rebote, lo llamaremos transitorio oscilatorio porque "resuena" u oscila.

De acuerdo con la curva CBEMA, los transitorios normalmente tienen que ser mayores al 100 % del voltaje para que sean considerados como un problema. Es la razón de porqué la mayoría de los expertos sienten que los transitorios que alcanzan 50 volts o más no son tan importantes.

SINTOMAS DE TRANSITORIOS EN EQUIPO ELECTRÓNICO

Cuando un equipo electrónico es expuesto a un transitorio, pueden suceder varias cosas. Lo primero es el trastorno del equipo. Pueden desplegarse datos erróneos en la pantalla o puede bloquearse el sistema. Esto puede ser inconveniente, pero generalmente no se presentan daños.

Lo segundo es la degradación del equipo. Si la actividad del transitorio es bastante constante (por ejemplo, los picos suceden todo el tiempo), entonces se pueden deteriorar los componentes del sistema tales como el rectificador de la fuente de poder o los circuitos integrados. Esto quiere decir que, mientras no sean afectados por el momento, tal vez resulten afectados mañana, o la próxima semana, o el próximo mes.

- Faragauss, aporta una solución a este problema al operar con un Xo bien acoplado a tierra y neutros sólidos a tierra operando unidireccionalmente a esta, el fenómeno de "flicker" y transitorios se atenúa.

Tercero, la causa de la destrucción de los componentes. Lo más obvio siempre es esto: Algo en el equipo comienza a humear o se escucha que algo truena o zumba. Esto casi siempre significa un problema.

SINTOMAS DE TRANSITORIOS EN EQUIPO DE DISTRIBUCIÓN

Los picos transitorios pueden causar los mismos tres problemas en los sistemas de potencia como lo hacen en los equipos electrónicos, perturbaciones, degradación o destrucción. Un pico transitorio puede causar un arco en un receptáculo interrumpiendo momentáneamente la energía. Si los transitorios ocurren frecuentemente, pueden ocasionar fallas en cableado, fusibles, cortacircuitos, transformadores, devanados y conexiones, degradándose por sobrecarga. Y por último, cualquier pico transitorio, si es suficientemente largo, puede causar que falle una parte del sistema en el lugar, especialmente en los devanados de los transformadores.

SINTOMAS DE TRANSITORIOS EN MOTORES ELECTRICOS

Los transitorios pueden afectar a los motores de diferentes maneras.

Primeramente, si el motor es controlado electrónicamente, entonces es susceptible a los picos transitorios o impulsos.

Segundo, y lo más común para los motores estándares es el efecto que los picos transitorios tienen sobre los devanados. Cada vez que los devanados del estator son afectados por transitorios, ellos deben absorber la energía. Dependiendo de cuanta cantidad de energía existe, el aislamiento de los devanados puede ya sea degradarse o fallar completamente. Cuando el aislamiento falla, el motor por si mismo se pondrá en cortocircuito o se quemará.



POTENCIAL TRANSFERIDO DE TIERRA.

El Green book de la IEEE Std. 142-1991, Prácticas recomendadas para puesta a tierra de Sistemas de potencia en Industrias y Comercios, contiene información específica referente al **potencial transferido de tierra (TEP)** en secciones 1.6.4, 1.6.7 y 4.2.6.

La sección 1.6.7 es más específica:

El término **Potencial Transferido de Tierra** se refiere al voltaje hacia y del terreno vigente en un sistema de puesta a tierra que aparecerá en los conductores como resultado de que el electrodo de puesta a tierra del sistema de tierra llegue a estar por encima del potencial normal del terreno. El nivel más alto de voltaje usualmente es originado por corrientes geoelectromagnéticas, navegando a través del terreno. Otro fenómeno común es una falla a tierra de un conductor, que está aterrizando a un transformador de una subestación primaria, a través del sistema de mallas que es usado para conectar a tierra el X_0 del secundario del transformador. Si esta malla de puesta a tierra no está conectada a la puesta a tierra del sistema de alto voltaje, puede haber un aumento de voltaje significativo por encima del terreno en cuanto la corriente de falla fluya hacia el terreno. Los conductores de bajo voltaje instalados en el área donde el voltaje de puesta a tierra o del electrodo de puesta a tierra ha sido afectado, tendrán un voltaje adicional a su voltaje normal de fase a tierra. El voltaje total puede exceder el nivel de aislamiento de los conductores o del equipo al cual están conectados.

Mientras que el enfoque del Green Book de IEEE sobre el TEP gira primeramente alrededor de sistemas de puesta a tierra en subestaciones, los principios aplican también a instalaciones de puesta a tierra en instalaciones de edificios. En una instalación de un edificio con pobre instalación de puesta a tierra, las condiciones de fallas y descargas atmosféricas pueden causar un considerable flujo de corriente a tierra. El flujo de corriente, interactuando con la

Serie de Colección

Copyright © 2000

impedancia de la instalación de puesta a tierra puede originar voltaje. Este voltaje, sucesivamente, causará una elevación en el voltaje de puesta a tierra dentro de la instalación del edificio. Esta condición se ilustra en la Figura 1. La elevación del potencial puede medirse en el equipo. Una referencia puesta en el terreno como una tubería de agua o un conductor enterrado proveen un buen punto de medición.

transformadores de la Compañía Suministradora de Energía, entonces los efectos de **TEP** serán peor. Las instalaciones de alimentación Y-Y pueden ser más propensos a adquirir problemas de **TEP**.

Como se establece en el Green Book, la elevación de voltaje causa efectos adversos en el cableado y equipo dentro de la instalación. Existen dos condiciones

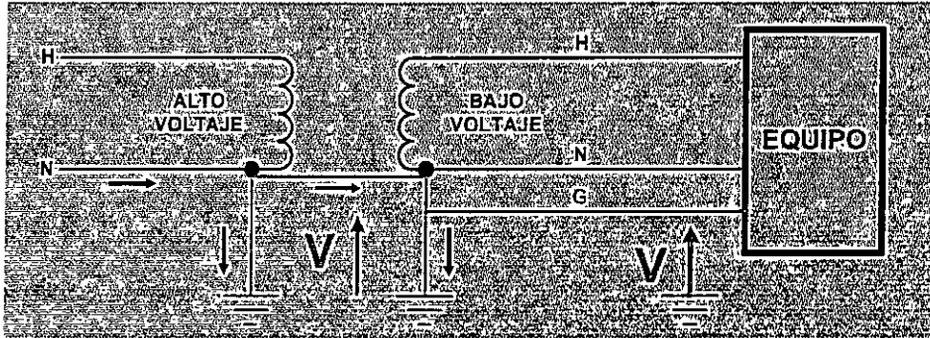


Figura 1. Potencial transferido de tierra

El potencial transferido de tierra ocurre con más frecuencia si la puesta a tierra de una instalación no es adecuada. Por ejemplo, las variaciones temporales en la resistividad del terreno debido al contenido de agua (terreno seco) o temperatura (terreno congelado) pueden ocasionar miles de ohm por centímetro en la resistividad del terreno. En este caso, una pequeña cantidad de corriente fluyendo a y/o desde tierra causa elevaciones de potencial dentro de una instalación. Si es inadecuada la puesta a tierra de la instalación y también la de los

que empeoran las condiciones del equipo afectado por **TEP**: la puesta a tierra adicional y la conectividad de datos. La puesta a tierra adicional (ejemplo, varillas de puesta a tierra separadas conectadas al chasis del equipo) provee un camino a través del equipo que es paralelo a la puesta a tierra de la acometida. Debido a esto, los transitorios de corriente que fluyen en la puesta a tierra de la acometida también encontrarán una trayectoria de

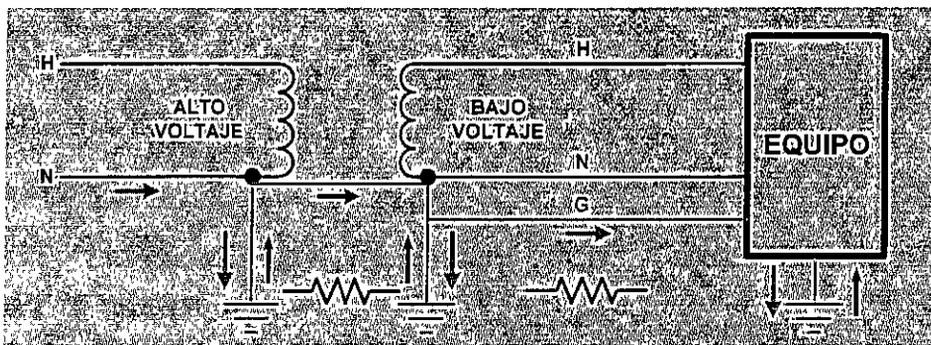


Figura 1. Potencial transferido de tierra

paso a través del equipo. La figura 2 muestra esta condición. Si la elevación de voltaje en la acometida es muy grande entonces el **TEP** resultante hará que fluyan grandes cantidades de corriente a través de la puesta a tierra del equipo hacia la puesta a tierra adicional del equipo. Esta es la razón por la cual los inspectores eléctricos frecuentemente requieren que la puesta a tierra adicional utilizada debe cumplir con lo provisto en la puesta a tierra efectiva del **NEC Artículo 250-51**.

El **TEP** puede afectar de manera adversa la conectividad de datos. Cuando la conectividad de datos provee una trayectoria metálica entre un aparato afectado por **TEP** y otro aparato con potencial del terreno, puede ocurrir un desajuste o un daño en el Hardware. En el caso de redes de datos diferenciales balanceadas, (RS-422) con potenciales de voltaje referidos al terreno pueden exceder la capacidad resistiva de las tarjetas de interfase en redes. En el mejor de los casos ocurrirán errores en la transmisión de datos. En el peor de los casos, cuando el potencial exceda la capacidad resistiva de las tarjetas de red (destrucción "quema" de tarjetas) ocurrirá un daño en el hardware.

En el caso de redes desbalanceadas asimétricas, (RS-232 o RS432), la conexión de la red a tierra en cada extremo de la red ofrece un camino para seguir a las corrientes de **TEP**. Si fluye la suficiente corriente por el camino, entonces ocurrirán problemas de transmisión de datos, y si el flujo de corriente es excesivo, entonces fallarán las tarjetas de interfase.

Los problemas de **TEP** pueden ser evitados asegurando una dirección o admitancia mayor y preferente con destino a tierra (efecto diodo de Faragauss), tanto en las mallas o circuitos como en los transformadores utilizados de la compañía suministradora de energía. La mayoría de las normas de **IEEE** recomienda una resistividad en el terreno de menos de 5 ohm para una instalación. Los problemas de **TEP** pueden empeorarse si se agregan varillas de puesta a tierra dentro de una instalación y

extendiendo una red de datos metálica entre equipo servido por los sistemas de aterrizamiento separados.

Solución: Instalar un Sistema Faragauss.

La tecnología Faragauss, impide el potencial transferido de tierra (**TEP**), debido a su eficiente unidireccionalidad a tierra y su exclusivo sistema de acopladores - sincronizadores (Coplagauss) de admitancias a tierra (Sistema Faragauss).

Dr. Fernando Maldonado López

American Working Directory

de México S.A. de C.V.

Loma Blanca No. 152

Col. Loma Dorada

Tel. 8253899

e-mail: fer_ml@faragauss.com.mx

www.faragauss.com.mx



ONDAS ENEMIGAS.

⇒ *Ante la alarma sobre los campos electromagnéticos generados por los teléfonos móviles, los cables de alta tensión o los electrodomésticos, se abre el debate sobre si comportan peligros reales o son miedos injustificados. Este boletín relata las últimas investigaciones llevadas a cabo para determinarlo.*

Los campos electromagnéticos, generados por teléfonos móviles, electrodomésticos y cables de alta tensión, nos tienen rodeados. Tanto en nuestras casas y oficinas como al aire libre estamos continuamente expuestos a sus consecuencias. Las asociaciones de consumidores han visto en ellos la causa de múltiples dolores y enfermedades graves como la leucemia: los grupos ecologistas organizan manifestaciones contra la instalación de torres de alta tensión en las proximidades de los centros habitados; los medios de comunicación difunden los resultados de las investigaciones, en ocasiones tranquilizadores, otras veces alarmistas. Y entre tanta confusión, los ciudadanos ¿qué deben hacer?

El hombre siempre ha vivido entre campos electromagnéticos. El primero de ellos, el generado por la propia Tierra, que protege a la atmósfera de las partículas que llegan del espacio, otro es el que emite el Sol, bajo forma de luz visible y de radiaciones infrarrojas y ultravioletas.

Contenido:
❖ **Ondas Enemigas.**

Serie de Colección

Copyright © 2000

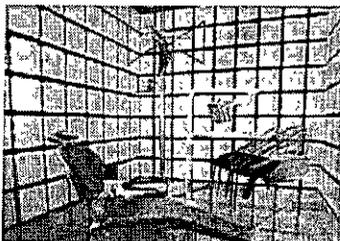
Pero, ¿cómo se generan los campos electromagnéticos? El eléctrico es aquel campo de fuerzas que rodea cualquier carga eléctrica. Su intensidad disminuye al incrementarse la distancia de la carga.

El campo magnético, en cambio, es el conjunto de fuerzas emitido por una carga en movimiento, es decir, por un hilo conductor atravesado por corriente eléctrica. Su intensidad es proporcional a la de la corriente que lo genera y disminuye también, al aumentar la distancia. Los dos componentes, campo eléctrico y magnético, generados por una carga en movimiento, constituyen el campo electromagnético.

radiografías hay que hacerlas sólo si es estrictamente necesario.

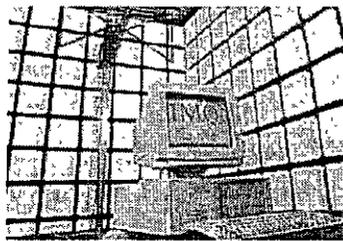
Pero no todas las ondas son tan peligrosas. Los campos emitidos por los electrodomésticos y por los cables de alta tensión tienen una frecuencia mucho más baja (véase tabla 1), y no tienen energía suficiente como para alterar los vínculos químicos. A lo sumo, pueden hacer vibrar las moléculas y calentar los tejidos. Las corrientes inducidas por los campos electromagnéticos a los que nos exponemos normalmente tienen una intensidad inferior a las corrientes naturales de nuestro propio cuerpo; sin embargo en la combinación del creciente nivel de ondas electromagnéticas,

PRUEBAS DE CALIDAD. - Algunos aparatos eléctricos sometidos a pruebas de compatibilidad electromagnética.



Examen de admisión

Antes de ser comercializados, son probados para comprobar su compatibilidad electromagnética.



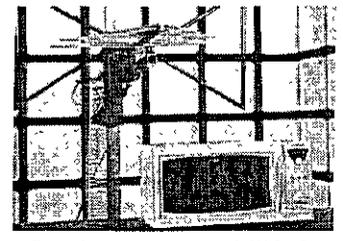
Aislamiento estricto

Las pruebas se realizan en una cabina, llamada semi-anechoide, revestida de paneles aislantes, donde se crea un ambiente sin interferencias.



Pruebas de inmunidad

Con el instrumento de la izquierda se transmite una señal electromagnética y se ve si interfiere con el funcionamiento del producto que hay que testar.



Pruebas de compatibilidad

La antena de la izquierda registra el campo electromagnético que genera el horno de microondas para averiguar si respeta los límites legales.

Las radiaciones electromagnéticas son, por lo tanto, ondas que se propagan por el espacio y la materia transportando energía. Cuanto más alta es la frecuencia de dichas ondas (la frecuencia es inversamente proporcional a la longitud de onda), tanto más alta será su energía. Las radiaciones de muy alta frecuencia, los rayos X (usados en las radiografías) y los rayos gamma (rayos cósmicos y radiación atómica) (**LAS RADIACIONES DE ALTA FRECUENCIA PUEDEN DAÑAR EL ADN DE UN ORGANISMO**) tienen la capacidad de alterar los vínculos químicos en el interior de las moléculas. Pueden dañar el ADN de un organismo y desencadenar el desarrollo de tumores y leucemias. Es por este motivo que las

podríamos enfrentar un serio problema para la humanidad.

En nuestros hogares, las ondas más difundidas son las de muy baja frecuencia, las FEB (*frecuencia extremadamente baja*). Las produce el ordenador, el secador de pelo, la batidora, los frigoríficos y los televisores. La mayor densidad de flujo magnético se registra en las cercanías de pequeños aparatos que tienen un envase exterior ligero, como la licuadora, el exprimidor, las máquinas de afeitar eléctricas y los secadores de pelo (véase el recuadro 2). Los motores de los grandes electrodomésticos, por el contrario, están provistos normalmente de un buen

blindaje (siempre y cuando este opere debidamente aterrizado).

En el ambiente exterior, las principales fuentes las constituyen las torres de alta tensión, las cabinas de transformación y los cables que alimentan los trenes y similares.

Subiendo en la escala de las frecuencias, después de las FEB, encontramos las ondas de radio y de televisión y las microondas, emitidas por los teléfonos móviles y por las antenas que utilizan. También en este caso la cantidad de energía que transportan es muy inferior a la que llevan los rayos X y los gamma.

hornos de microondas. El fenómeno del calentamiento, sin embargo, se da sólo a una distancia muy corta del generador.

Los teléfonos móviles recalientan la zona alrededor de la oreja 1,8° C. en una conversación telefónica media. En realidad, son pequeños valores, pues una carrera puede aumentar en dos o tres grados la temperatura de todo el cuerpo, sin que nadie haya pensado nunca que ello pueda ser peligroso para la salud (Sin embargo el calentamiento específico de esa área del cuerpo humano y provocada externamente, debe de seguirse investigando).

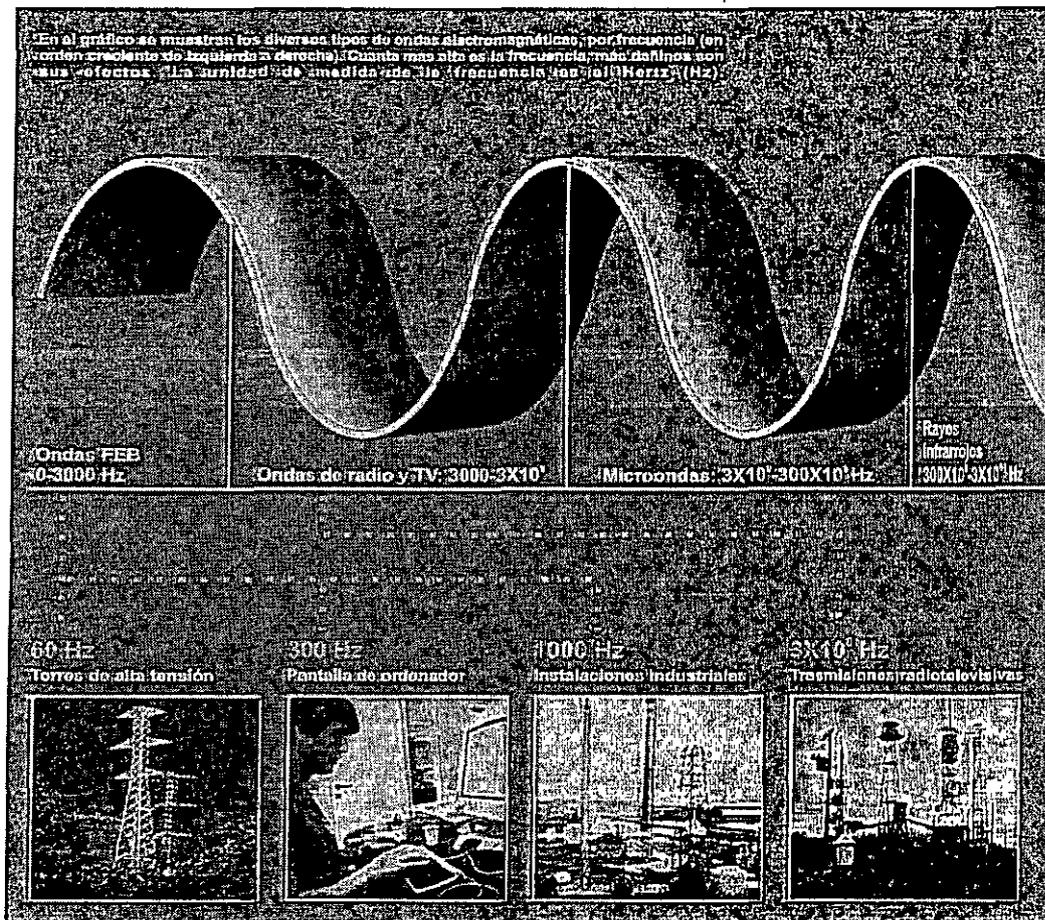


Tabla 1.

El efecto más relevante de las microondas es el calentamiento de los tejidos que contienen agua. El campo electromagnético, en estas frecuencias, hace vibrar las moléculas de agua y les cede su energía bajo forma de calor. Es el principio sobre el que se basan los

A la espera de que estas investigaciones se vean confirmadas, ¿qué otro mecanismo biológico podría justificar una eventual actividad dañina, por ejemplo cancerígena, de los campos electromagnéticos?

Científicos de todo el mundo estudian, desde hace años, los efectos de las ondas sobre la

fisiología celular para responder a esta pregunta. Hasta ahora sólo han registrado un aumento de la proliferación celular en los tejidos expuestos a campos análogos a los emitidos por los teléfonos móviles, pero no hay evidencia alguna de que este fenómeno esté ligado al desarrollo de tumores y leucemias.

En Roma, un grupo de investigadores del Departamento de Ingeniería Electrónica de la Universidad La Sapienza se está moviendo por un terreno inexplorado: el de la acción de los campos electromagnéticos sobre la membrana celular. En la estructura externa de cada célula se abren canales que dejan entrar o salir, de forma selectiva, las moléculas de determinados compuestos químicos, de una en una.

difícil el paso de las moléculas. Sin embargo, no se han establecido todavía claramente las consecuencias del fenómeno sobre la salud de la célula y del tejido.

A la espera de que concluyan las diferentes investigaciones, la Unión Europea dictó en 1999 una recomendación que fija los límites de exposición a los campos electromagnéticos (ver recuadro 3). En España no existen leyes para regular los límites de exposición a las ondas. La única normativa que existe, en vigor desde 1968, es la que se refiere a la instalación de líneas eléctricas aéreas de alta tensión, ya sea para abastecer de electricidad a las ciudades o para el funcionamiento de los trenes.

El decreto fija las distancias que dichas líneas deben mantener respecto a la masa vegetal y

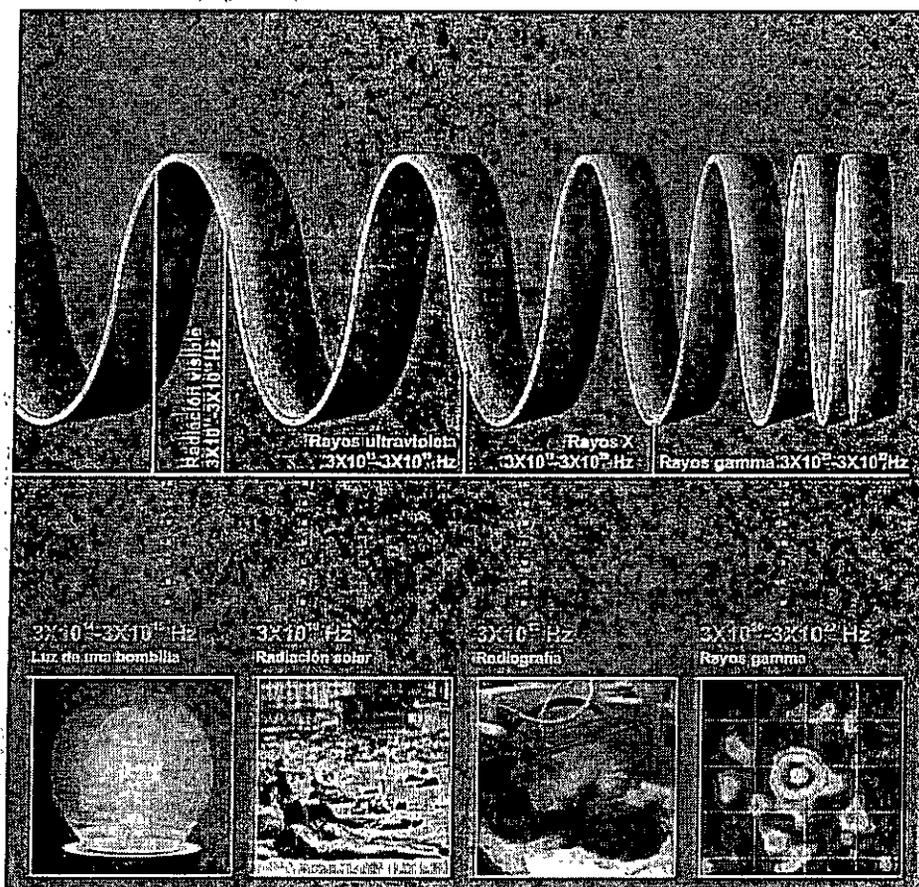


Tabla 1.

Los primeros resultados del estudio indican que la exposición de las células a los campos electromagnéticos de baja frecuencia provoca una deformación de los canales de la membrana y hace más

a los edificios, construcciones, zonas urbanas y aeropuertos.

He aquí varias fuentes caseras de campos electromagnéticos de 60 Hz.

Junto al aparato está el valor de la densidad de flujo magnético medida en microtesla a 10 cm. de distancia.

Exprimidor.....	319 microtesla
Máquina afeitar	713 microtesla
Secador de pelo.....	184 microtesla
Radiodespertador.....	171 microtesla
Batidora.....	282 microtesla
Ordenador.....	22 microtesla

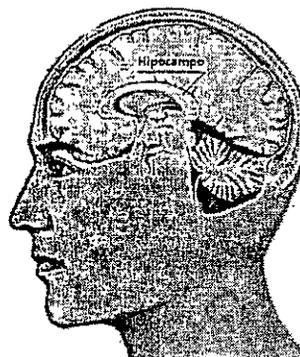
La máxima densidad de flujo magnético permitida para largas exposiciones (más de cuatro horas diarias) por las normas europeas es de 100 microtesla y la densidad media del campo magnético terrestre es de 57 microtesla. Los valores de la tabla son altos, pero pensemos que se han medido a pocos centímetros de distancia de los aparatos. Es suficiente con alejarse unos 20 cm. para que la densidad de flujo magnético disminuya. No les ocurre a muchas personas el hecho de encontrarse más de cuatro horas diarias a 10 cm. de distancia de una batidora, sin embargo debemos seriamente considerar nuestra exposición nocturna por más de cinco horas, cuando dormimos cerca de cables eléctricos en la cabecera de nuestra cama.



SILA ONDA CIERRA EL CANAL
 Recientes estudios parecen demostrar que la exposición de las células a las ondas electromagnéticas provoca una deformación de los canales de la membrana celular dificultando así el paso de las moléculas necesarias para su equilibrio.

Recuadro 2.

Llamada larga, memoria corta



¿El abuso de los teléfonos móviles influye en la memoria? Según un estudio de la Universidad de Washington, las ratas expuestas a ondas similares a las de los

teléfonos móviles, a largo plazo, sufren daños en la memoria. Se hizo memorizar a 100 ratas el recorrido para lograr el alimento. La mitad de ellas fueron expuestas, durante una hora, a ondas electromagnéticas, y se observó una mayor dificultad para volver a encontrar el recorrido memorizado, respecto a las ratas que no habían sido sometidas a las ondas. ¿Qué ocurre en su cerebro? En el hipocampo, la estructura cerebral en la que reside la memoria, disminuye el nivel de una molécula llamada acetilcolina lo que parece crear problemas para la construcción de un mapa mental. Todavía no se ha comprobado



Recuadro 3.

si estos datos son válidos también para las personas. Esta investigación se suma a otras donde se estudian los efectos de permanecer a 10 o 20 cms. de los cables eléctricos de la parte inferior de la pared de nuestra recámara, al quedar nuestra cabeza durante cinco o más horas expuesta a campos electromagnéticos (fase y neutro de corriente alterna).

Contaminación Electromagnética:

Día a día se incorporan en nuestro entorno aparatos, equipos y sistemas electrónicos tales como teléfonos celulares, walkies-talkies, computadoras, hornos de microondas, satélites de comunicación y en fin toda una gama de tecnología, la cual al sumarse a cables de alta tensión eléctrica y los próximos a nuestra cabeza en la pared de la recámara mientras dormimos, crean ondas y campos invisibles para nuestra vista, pero tan reales que en el instante que lea esto le envuelven y pudieran afectar sus equipos electrónicos, sistemas e instalaciones así como su calidad de vida.

Con visión hacia los próximos años, seguramente la contaminación electromagnética crecerá; por esto se requiere hoy día una seria reflexión sobre el que hacer para controlar este monstruo invisible.

Como la energía no la podemos acabar, sino únicamente controlar o transformar, es el sistema de puesta a tierra; si aquel referido a la patita redonda de la clavija eléctrica de nuestra computadora, el que adquiere su gran importancia para que logren convivir seres humanos, aparatos y el planeta tierra.

¡Piense en su sistema de puesta a tierra!



Reflexiones de Pararrayos.

Dr. Ing. Andrés B. Lino.

Presidente del Comité de E

Posy Sem

⇒ El tema de los pararrayos con dispositivos de cebado (PDC), llamados también de emisión temprana, o quizás como los conocen muchos, ionizantes, no es tan nuevo.

Desde el momento en que se pensó utilizar la radioactividad y su propiedad de emisión de partículas (alfa, beta, gamma) con el objetivo de ionizar el aire circundante para la protección contra los rayos, específicamente su captura, ya se esbozaba la posibilidad de un pararrayos "superior" a los tradicionales.

Desde hace unos años, una nueva generación de pararrayos con "tecnología de avanzada" (los PDC) ha invadido los mercados y los techos de infinidad de estructuras y edificaciones en diversos países.

No existen, sin embargo, normas internacionales que respalden la utilización de estos pararrayos; en nuestra opinión, lo sensato sería detener la instalación e importación de tales dispositivos mientras no sean admitidos por la IEC.

El Comité Electrotécnico Cubano basa todo su trabajo sobre normas internacionales, principalmente las de la IEC. El por qué de esta línea está claro, pero podemos resumir que se sostiene fundamentalmente en que las normas de la IEC elaboradas por especialistas de varios países que aportan sus experiencias a través de un trabajo en grupo, riguroso y sujeto a revisiones periódicas, están avaladas por investigaciones y ensayos y las mismas son sometidas a votos paralelos y opiniones de diferentes grupos de expertos y comités técnicos.

Contenido:

❖ Reflexiones de Pararrayos.

Serie de Colección

Copyright © 2000

En artículo publicado en el Boletín 3 - 2 realizamos, como lo dice el título, una aproximación a la crónica de la visita a Cuba del Presidente del Comité Técnico 81 de la IEC Protección contra el rayo, Prof. Dr. Ing. Christian Bouquegneau.

A continuación exponemos textualmente su criterio acerca de los PDC, vertido en una de las conferencias que impartió en el Salón "Baraguá" del Capitolio Nacional, en diciembre del pasado año 2000, incluimos también la declaración emitida por este Comité 81 en la reunión de Lisboa a la cual se hace referencia. Por último los exhortamos a que profundicen en el tema y realicen a partir de las informaciones disponibles el mejor y más objetivo análisis.

Ideas personales (del Prof. Dr. Ing. Christian Bouquegneau) acerca de los pararrayos ionizantes...

Durante la última reunión del Comité Técnico 81 de la IEC: Protección contra el rayo (IEC TC81) efectuada en Lisboa, Portugal, el 8 de septiembre del 2000, la declaración dada en la referida edición fue enviada a la NFPA (National Fire Protection Association, USA).

En Rodas, a la siguiente semana, el Comité Científico de la ICLP (International Conference on Lightning Protection) decidió enviar una declaración similar.

¡Esa no fue la primera vez que tuvimos que tratar con el negocio de los ESE (Early Streamer Emission)!.

Los presentadores de nuevas normas de protección contra el rayo basadas en los dispositivos ESE, las cuales fueron rechazadas por la NFPA, están ahora demandando a la NFPA a aportar la prueba científica de los dispositivos existentes relacionados en la NFPA 780*. Los mismos cubren algunas de las

publicaciones de la IEC, aunque no completamente.

Por supuesto, el objetivo final perseguido con los proyectos contra rayos de la NFPA es un paso de difícil comprensión para la comunidad Internacional en la protección contra el rayo. La necesidad de la protección contra el rayo es evidente, por lo que la necesidad de una norma en esa materia también lo es. Alentamos firmemente a todos los comités nacionales a adoptar las publicaciones de la IEC como sus normas nacionales a fin de evitar el vano reclamo de los productores e instaladores del producto. De esta manera no deberíamos estar muy de acuerdo con el retiro de una norma, lo cual no es obligatorio y recomendamos únicamente el uso de las publicaciones de la IEC.

En Europa, apreciamos mucho que el CENELEC (Comité Européan de Normalisation Electrotechnique) apruebe las publicaciones de la IEC en protección contra el rayo; cada vez más y más publicaciones son presentadas al voto paralelo. En Bélgica, por ejemplo, no existen otras normas nacionales que no sean las publicadas por el CENELEC, es decir, las de la IEC y estoy seguro que otros países europeos reaccionarán de igual manera.

De todas formas, se está presentando un problema muy delicado que consume abundante energía en nuestras distintas conferencias y reuniones: ¡el incremento de los ESE!.

Como he expuesto varias veces en otras ocasiones, la filosofía de la protección convencional contra el rayo, los métodos y su implementación práctica descansan sobre bases teóricas y empíricas bien fundamentadas con una vasta experiencia para validar y verificar dichos métodos.

Las ganancias ambiciosas y potenciales involucradas en el diseño de receptores de rayos pretendidamente más efectivos es,

obviamente, una motivación para la invención y la presentación de una cantidad de diferentes artículos y sistemas de protección contra el rayo, donde las pretendidas ventajas han sido frecuentemente publicadas, desafortunadamente sin verificación de sus funciones y la validación de sus efectos.

La primera dificultad relacionada con los dispositivos ESE es el hecho de que un sinnúmero de productos son clasificados bajo el mismo ítem ESE, por tal razón es muy difícil asegurar de qué se trata cuando se utiliza el término único ESE.

Hasta ahora, las pruebas paralelas efectuadas con pararrayos Franklin simples y varios dispositivos ESE expuestos (in situ) a descargas eléctricas naturales no han mostrado diferencias significativas en la distancia de atracción o en el número de impactos en los diferentes tipos de pararrayos.

En un futuro, afortunadamente, más sistemas y componentes efectivos de protección contra el rayo serán desarrollados, pero hasta que tales sistemas no sean probados en el sentido científico, su uso no debe ser permitido en objetivos que necesiten de protección.

Como científico, apoyo firmemente todas las investigaciones y experimentos dirigidos a desarrollar nuevos conceptos y dispositivos de captación del rayo. Realmente admiro, respeto y animo a los centros de investigación y a las compañías que invierten grandes sumas de dinero para apoyar dichos experimentos. Estamos esperando por una publicación científica realmente seria.

Tenemos que seguir siendo razonables y cuidadosos con las ediciones de guías y normas.

Rechazo profundamente que algunas normas nacionales establezcan el uso de los dispositivos ESE, especialmente cuando son editadas por países bien conocidos por su sólida reputación científico-técnica, lo que sirve como modelo a seguir por muchos países más pequeños. ¡Esto es un gran error!.

Es por todo eso que solicito a todos aquellos comités nacionales a retirar tales normas relacionadas con los ESE y que promuevan sólo el uso de las normas de la IEC.

Durante la última reunión de nuestro IEC TC81 en Lisboa, el 8 de septiembre del 2000, se aprobó la siguiente declaración y se decidió remitirla a la NFPA:

“Como fuera anunciado por el Delegado Principal de los expertos de Estados Unidos en la reunión del IEC TC81 en Lisboa el 8 de Septiembre del 2000, queda entendido que la NFPA está considerando el retiro de la NFPA 780.

Se ha señalado que las bases de la NFPA 780 utilizan la misma ciencia y los principios usados en las publicaciones de protección contra el rayo de la IEC.

Las publicaciones de la IEC sobre Protección contra el Rayo han sido desarrolladas sobre fundamentos de los principios de la protección utilizados a lo largo de muchas décadas por los miembros activos de la IEC.

Estos métodos han mostrado su efectividad bajo diferentes ambientes naturales (diferentes condiciones de tormentas) a través de todo el mundo.

Los métodos de intercepción, específicamente, han sido evaluados por el Comité de Estudios 33 de la CIGRE (Conference Internationale des Grands Réseaux Electriques) y concuerdan con lo que se ha publicado en la IEC acerca de la protección contra el rayo.

Por todo ello, el IEC TC81 recomienda que las publicaciones de la IEC sobre protección contra el rayo deben ser adoptadas por todas las naciones del mundo."*

* Standard for the Installation of Lightning Protection Systems. 1997 Ed.

¿Una sola tierra eléctrica?. ¿Tierras separadas?. ¿Tierras interconectadas?.

BrngAnd Bo Man

**Contenido:****❖ Normas de Tierras eléctricas.**

Este tema de la electrotecnia ha ido variando en su enfoque durante el siglo a medida que las instalaciones electrotécnicas se han vuelto más complejas y exigentes, lo cual se ha agudizado durante los últimos años con la introducción masiva de equipos electrónicos sensibles.

Los problemas eléctricos con dichos equipos tienen orígenes muy diversos y entre ellos está el referente a las tierras eléctricas. En Cuba, recientemente, han ocurrido daños en equipos de comunicaciones y de transmisión de datos, con la reacción siguiente de los técnicos involucrados en cada caso: *la causa ha sido la conexión del sistema de protección contra rayos a una tierra común*, sin un estudio que avale ese criterio.

El presente trabajo constituye una compilación de regulaciones a nuestro alcance sobre las tierras eléctricas contenidas en normas, de la IEC y otras instituciones, en códigos y en publicaciones de fabricantes de equipos electrónicos sensibles. El autor del trabajo se ha limitado a hacer la selección de las regulaciones, traducirlas y ordenarlas en una secuencia que le ha parecido apropiada, sin comentario alguno. El lector sacará sus propias conclusiones.

1. INTERNATIONAL STANDARD. IEC 61024-1. 1990-03

"Protección de estructuras contra los rayos. Parte 1 : Principios generales".

2.3.1 General

Desde el punto de vista de la protección contra rayos, es preferible un sistema único integrado de terminación en tierra, adecuado para todos los fines (o sea, protección contra rayos, sistemas electroenergéticos de baja tensión, sistemas de telecomunicaciones).

Los sistemas de terminación en tierra que deben estar separados por otras razones, se conectarán al integrado por enlaces equipotenciales de acuerdo con la Sub-cláusula 3.1.

3.1.1 General

La equipotencialización es una medida muy importante para reducir los peligros de incendio y explosión, y la amenaza a la vida, en el espacio a proteger. La equipotencialización se alcanza por medio de conductores de enlace o supresores de impulsos que conectan el sistema de protección contra rayos, la armadura metálica de la estructura, la instalación metálica, las partes conductoras extrañas y las instalaciones eléctricas y de telecomunicaciones dentro del espacio a proteger.

2. INTERNATIONAL STANDARD. IEC 61024-1-2. 1998-05

"Protección de estructuras contra los rayos. Parte 1-2: Principios generales. Guía B -Diseño, instalación, mantenimiento e inspección de sistemas de protección contra rayos",

2.4.1.1 General

Desde el punto de vista de la protección contra rayos,

es preferible un sistema único integrado de terminación en tierra, adecuado para todos los fines (o sea, protección contra rayos, sistemas electroenergéticos de baja tensión, sistemas de telecomunicaciones),

3. USA STANDARD. ANSI/NFPA 78. 1986 "Código de protección contra rayos"

3.14 Puesta a tierra común

Todos los medios de puesta a tierra en una estructura, o sobre ella, se interconectarán para proporcionar un potencial común a tierra, Esto incluirá las tierras de la protección contra los rayos, el servicio eléctrico, teléfono y antenas, así como los sistemas de tuberías metálicas soterradas.

4. USA STANDARD. ANSI/NFPA 75. 1992

"Protección de equipos electrónicos de computación y procesamiento de datos".

Apéndice B. 645-4 Puesta a tierra

Todas las partes metálicas expuestas no-portadoras de corriente de un sistema de procesamiento de datos se conectarán a tierra de acuerdo con el Artículo 250 (Nota del Autor: Artículo del NFPA 70),

5. USA STANDARD. ANSI/NFPA 70. 1993 "Código Eléctrico Nacional",

250.81 Sistema de electrodos de tierra. Si las facilidades en cada edificio o estructura disponen de ellos, cada uno de los electrodos en (a) hasta (d) a continuación, y cualquiera de los electrodos hechos de acuerdo con las Secciones 250-83 (c) y (d), se interconectarán para formar el sistema de electrodos de tierra. Las tuberías metálicas hidráulicas interiores:

- (a) Tubería metálica hidráulica soterrada,
- (b) Tubería metálica del edificio donde esté puesta a tierra con efectividad.
- (c) Electrodo embebido en hormigón,
- (d) Anillo de tierra, Un anillo que rodea al edificio o estructura

250.83 Electrodo hechos y otros. Cuando no están disponibles ninguno de los electrodos especificados, en la Sección 250-81, se usará uno, o más de uno, de los electrodos especificados en (b) hasta (d) a continuación, Donde sea factible, los electrodos hechos

(b) Otros sistemas o estructuras locales metálicas soterrados. Otros sistemas metálicos como los de tuberías y tanques soterrados.

(c) Electrodo de barra o tubería,

(d) Electrodo de plancha.

250.86 Uso de barras de pararrayos.

Los conductores de los pararrayos u otros electrodos hechos usados para la puesta a tierra de barras de pararrayos, no se utilizarán en lugar de los electrodos de tierra hechos exigidos por la Sección 250-83 para la puesta a tierra de sistemas y equipos. Esta disposición no prohibirá la interconexión exigida de los electrodos de tierra de los diferentes sistemas.

(Nota No.2): La interconexión de todos los electrodos; de tierra segregadas limitará las diferencias de potencial entre ellos y entre sus sistemas de cableado asociados.

Artículo 645-computadora electrónica / equipo de procesamiento de datos.

645-15 Puesta a tierra. Todas las partes metálicas expuestas no-portadoras de corriente de un sistema de procesamiento de datos por computadoras electrónicas se conectarán a tierra de acuerdo con el Artículo 250 o tendrán aislamiento doble.

Artículo 800 - circuitos de comunicaciones

800-33 Puesta a tierra de cables. El forro metálico de los cables de comunicaciones que penetran en los edificios se conectarán a tierra tan cerca como sea posible del punto de entrada o se interrumpirá tan cerca del punto de entrada como sea factible por medio de

una junta aislante o de un dispositivo equivalente.

800-40 Puesta a tierra del cable y del protector primario. La(s) parte(s) metálica(s) del forro de cable, donde la Sección 800-33 exija conectarla(s) a tierra, y los protectores primarios se conectarán a tierra en la forma especificada a continuación en (a) hasta (d).

(a)

(b) **Electrodo.** El conductor de tierra se conectará como sigue:

Al lugar accesible más cercano en: (1) el sistema de electrodos de tierra del edificio o estructura indicada en la Sección 250-81, (2) el sistema a tierra de las tuberías hidráulicas metálicas interiores indicado en la Sección 250-80 (a), (3) los medios accesibles de servicio electroenergético externos a los recintos indicados en la Sección 250-71 (b), (4) las canalizaciones metálicas del servicio electroenergético, (5) la carcasa de los equipos de servicio. (6) el conductor del electrodo de tierra o la cubierta metálica del conductor del electrodo de tierra.

.....

(c) **Conexión de electrodos.** Se conectará un enlace de conexión no menor del No.6 AWG de cobre o equivalente entre el electrodo de tierra de comunicaciones y el sistema de electrodos de tierra del servicio electroenergético en el edificio o estructura donde se utilicen electrodos segregados. Se permitirá la interconexión de todos los electrodos segregados.

Artículo 810- equipos de radio y televisión

Artículo 820 -televisión por antena de comunidad(catv) y sistemas de distribución de radio

(Nota del Autor: En estos artículos se indica prácticamente lo mismo que lo expresado antes para el Artículo 800).

6. CSA STANDARD. C22.1 -1990

Código Eléctrico Canadiense. Parte 1. Decimosexta edición.

Norma de Seguridad para Instalaciones Eléctricas.

10-206 Conexiones a tierra para sistemas segregados

(b) Si se emplean dos sistemas o más, se instalará un conductor de puesta a tierra común a menos que se provea una tierra segregada para cada sistema, en cuyo caso se interconectarán las tierras de los sistemas individuales.

10-402 Equipos fijos, específicos

(1) Las partes metálicas expuestas no portadoras de corriente de los equipos fijos siguientes se conectarán a tierra (k) Equipos de procesamiento de datos.

10-406 Equipos no-eléctricos (ver Apéndice B)

(6) En salas de computadoras y lugares similares que tienen pisos elevados con soportes metálicos, al menos cada cuarto pedestal se conectará a tierra por un conductor de cobre No.6 AWG o equivalente.

10-706 Espaciamiento o interconexión de los sistemas eléctricos y de protección contra rayos. Donde sea factible, se proveerá una separación no menor de 2 m entre los conductores de pararrayos y los conductores y equipos eléctricos, pero si esta separación no fuese posible, los electrodos de tierra para los dos sistemas se interconectarán, al nivel del terreno o por debajo de él, con un conductor de un tamaño no menor.

10.708 Espaciamiento e interconexión de las tierras de sistemas eléctricos, de comunicación y de antena de comunidad. Donde se proveen electrodos artificiales segregados como medios de puesta a tierra para sistemas eléctricos, de comunicaciones y de antena de comunidad, cada electrodo estará separado al menos 2 m de cualquier otro electrodo, como se exige por la Regla 10-702 (8) y ellos se interconectarán de acuerdo con la Regla 10-702 (9).

10-710 Uso de conductores de pararrayos.

Los conductores de pararrayos y las tuberías y varillas hincadas, u otros electrodos, excluidos los sistemas de tuberías metálicas hidráulicas soterradas, utilizados para la conexión a tierra de pararrayos, no se usarán para la puesta a tierra de sistemas de cableado u otros equipos eléctricos.

Sección 60 -Sistemas eléctricos de comunicación

60.706 Electrodos de tierra (ver Apéndice B) (4) Donde se utilice una tubería o varilla hincada como electrodo de tierra para un sistema de comunicación, tendrá una separación no menor de 2 m de cualquier otro electrodo, incluidos aquellos usados para circuitos electroenergéticos, radio, pararrayos, o cualquier otro propósito y se conectarán sólo a los de los circuitos electroenergéticos de acuerdo con las Reglas 10-702 (9) (a), (b) y (c).

(concluye en el próximo boletín)

**PARARRAYOS RADIOACTIVOS EN ESPAÑA**

Madrid, 20 abr (EFE).- Unos 5.000 pararrayos radiactivos quedan todavía en España, de los 25.000 que se estima que se instalaron en la década de los sesenta y setenta y, aunque no suponen ningún peligro, ENRESA sigue retirando unos 1.500 al año de forma gratuita si lo solicitan los propietarios.

La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos (ENRESA) ha retirado 19.922 pararrayos radiactivos, desde que en 1992 se inició la operación de desmantelamiento tras la decisión del Gobierno en 1986 de prohibir la colocación de nuevas unidades, que se diferencian de los convencionales en que tienen sobre el mástil "una corona o cabeza con el isótopo radiactivo americio 241".

Entonces, se ofrecieron dos opciones a los propietarios de los edificios que tenían alguno: mantenerlos en su emplazamiento solicitando la autorización como instalación radiactiva, o solicitar la retirada por escrito a cargo de la Administración, que podría finalizar en dos o tres años.

ENRESA recibió, a 31 de marzo de este año, 20.203 peticiones de retirada, por lo que restan por atender 281, 63 de ellas en la comunidad de Madrid; 40 en Cataluña; 30 en Andalucía; 29 en Castilla La Mancha y 28 en Castilla y León, entre las más numerosas.

A través de los Ayuntamientos y las Comunidades Autónomas, ENRESA sigue informando para que los propietarios de fábricas, comunidades de propietarios o edificios en general conozcan la legislación y soliciten, si así lo deciden, la retirada de los pararrayos radiactivos, que se diferencian claramente por la "corona", explicaron las fuentes.

Estas instalaciones no son más efectivas que las convencionales, ya que lo importante es "la toma de tierra", porque los rayos, un fenómeno natural que llegó a 35.527 descargas el 15 de agosto de 1998, opta por el camino de menos resistencia.

Si se desconoce el tipo de pararrayos que se tiene, se puede enviar una fotografía para que ENRESA verifique si dispone de isótopo radiactivo, o incluso un técnico puede desplazarse para comprobarlo.

Contenido:
❖ **Pararrayos
radioactivos.**

La recogida se realiza en un mes, o menos, desde que el propietario pide por escrito el desmantelamiento, que pretende evitar que en las demoliciones quede descontrolado el material radiactivo, aunque permite reutilizar el mástil.

La "corona" se lleva a un laboratorio del CIEMAT (Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas, dependiente del Ministerio de Industria y Energía), donde se separa la lámina del americio 241 (con un tamaño similar a media uña), y se envía al Reino Unido, donde se recicla para otras aplicaciones industriales, como detectores de humo, de llenado de botellas o marcapasos.

En el siguiente cuadro se detallan los datos por Comunidades Autónomas a 31-03-2000 de las peticiones recibidas por ENRESA, las unidades retiradas y los pararrayos pendientes por desmantelar:

COMUNIDAD	PETICIONES	RETIRADOS	PENDIENTES
Andalucía	2.484	2.454	30
Aragón	851	843	8
Asturias	492	486	6
Baleares	357	352	5
Canarias	346	344	2
Cantabria	225	219	6
Castilla-León	1.618	1.577	41
Castilla	892	863	29
Mancha	4.336	4.292	44
Cataluña	1.540	1.537	3
C. Valencia	468	464	4
Extremadura	1.618	1.577	41
Galicia	3.135	3.072	63
Madrid	506	502	4
Murcia	329	327	2
Navarra	786	783	3
País Vasco	152	149	3
La Rioja	33	33	0
Ceuta	35	35	0
Melilla			
TOTALES	20.203	19.922	281

Interferencia Electromagnética generada por el Tren de Alta Velocidad en los Sistemas de Telefonía

J E. Vila , P.G. Vicente de Vera, J. Castro
TELEFÓNICA I+D

W. Warzanskyj
TELEFÓNICA, DPTO. TECNOLOGÍA Y NORMATIVA TÉCNICA

FARAGAUSS[®]
System

Contenido:

❖ **Interferencia Electromagnética en los Sistemas de Telefonía.**

Las líneas de telecomunicación situadas en las proximidades de líneas de potencia se ven afectados por perturbaciones de origen electromagnéticos. El presente artículo expone los diferentes tipos de perturbaciones debidas a la línea de tracción eléctrica del Tren de Alta Velocidad y sus métodos de cálculo. Finalmente se aplican a un caso practico y se evalúa la influencia de algunos de los parámetros involucrados.

INTRODUCCIÓN

La instalación del Tren de Alta Velocidad (TAV) presenta una problemática de Compatibilidad Electromagnética (EMC) con su entorno, debido a que su red de tracción eléctrica interfiere con las líneas de telecomunicación próximas.

El problema se plantea en términos de coexistencia entre dos sistemas que deben compartir un cierto espacio físico. Por una parte el elemento perturbador, la línea de tracción eléctrica, y por otra el elemento perturbado, la línea de telecomunicación.

La alimentación del TAV se va a realizar a una tensión de 25 Kvolts, 50 Hz. y su consumo es del orden de 720 Amp. (la corriente máxima por la catenaria es de 1250 Amp.).

Así mismo, deben cumplirse un conjunto de Recomendaciones del CCITT [5], que se refieren a la protección de las personas y al máximo nivel de ruido sofométrico admitido.

Todo lo anterior fue determinado en el Dpto. de Tecnología y Normativa Técnica de Telefónica, y ha dado origen a un proyecto que se ha insertado dentro del conjunto de actividades que en EMC se desarrollan en Telefónica I+D. Los objetivos del proyecto en curso, son los siguientes:

Desarrollar un CAD de EMC que pueda ser integrado en el sistema gráfico que Telefónica está usando para la digitalización de su Planta y que sirva de soporte para el diseño de nuevas redes.

Investigar la influencia de los diferentes parámetros involucrados y contrastarla con los resultados de un plan de medidas.

El presente artículo describe los diferentes efectos perturbadores, su análisis, la influencia de alguno de sus parámetros y un ejemplo de aplicación a un tramo de la línea del TAV Madrid-Sevilla.

LÍNEA PERTURBADORA

La línea de tracción eléctrica del TAV es el elemento perturbador. La solución de los problemas de interferencia se adopta actuando, por una parte sobre el elemento perturbador, con objeto de reducir en lo posible la generación de interferencias, y por otra parte sobre el elemento perturbado, la línea de telecomunicación, de forma que sea más resistente o menos afectado en su funcionamiento por las perturbaciones.

Vamos a describir brevemente los posibles sistemas de alimentación, realizando hincapié en los elementos que contribuyen a minimizar la interferencia y en su efecto reductor. Posteriormente se hacen algunas consideraciones acerca de los armónicos generados en la máquina.

Los sistemas para reducir el nivel de perturbaciones tienen como objetivo el proporcionar a la corriente de retorno un camino definido y próximo al de la corriente de la catenaria. De esta forma, al sumarse los efectos inductores de ambas corrientes y tener estas sentidos opuestos, se restan, minimizando el efecto final.

El hecho de añadir los elementos reductores de la interferencia tiene una importante incidencia económica en el coste final de la línea de tracción.

Existen, en líneas generales [5], cuatro posibles esquemas de la línea de tracción eléctrica, que se describen a continuación. El primero es el sistema básico, y los tres siguientes incluyen alguna medida para la reducción de la interferencia.

Sistema básico

La figura 1a muestra un esquema del sistema básico de alimentación. Incluye únicamente la catenaria que proporciona la corriente

necesaria a la máquina del tren, siendo el camino de retorno de la corriente por los raíles y tierra. La diferencia entre la corriente por la catenaria y la de los raíles (componente de corriente que retorna por tierra) es la que contribuye principalmente a la generación de perturbaciones. Este sistema de alimentación tan simple no incluye ninguna medida reductora de interferencias.

Conductor de retorno

La figura 1b muestra el esquema de este sistema de alimentación de la máquina del tren.

Se añade un conductor de retorno conectado a los raíles a intervalos regulares, proporciona un camino de baja impedancia a la corriente de retorno.

La corriente por el conductor de retorno circula en sentido contrario a la de la catenaria, por tanto contribuye a reducir la interferencia. En la medida en que su impedancia sea lo suficientemente reducida como para canalizar la máxima cantidad de corriente de retorno, será mayor su eficacia reductora de interferencia.

El hilo de retorno se sitúa próximo al de la catenaria para reducir el tamaño del bucle que forman ambos hilos.

Transformadores con conductor de retorno

La figura 1c muestra el esquema general de la línea de tracción.

Este sistema incluye un hilo de retorno de corriente, conectado a los rieles en una posición intermedia entre los transformadores. Esta conexión proporciona el camino para que la corriente que retorna por los raíles pase a circular por el hilo de retorno.

El transformador obliga a que la corriente circule por el conductor de retorno, ya que la corriente de alimentación que va por la catenaria induce una corriente de sentido contrario en el secundaria del transformador, que a su vez está conectado a los raíles.

En este sistema se produce un cortocircuito al puentear el pantógrafo de la máquina la discontinuidad de la catenaria.

El hilo de retorno debe situarse lo más próximo posible de la catenaria, para que se reduzca el efecto inductor.



Fig 1a

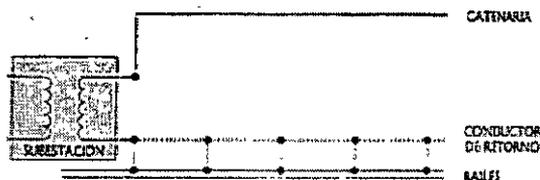


Fig 1.b

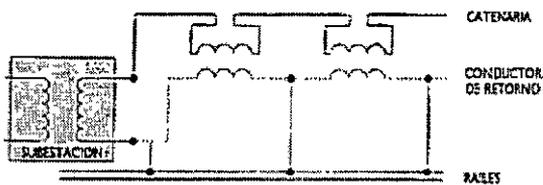


Fig 1c

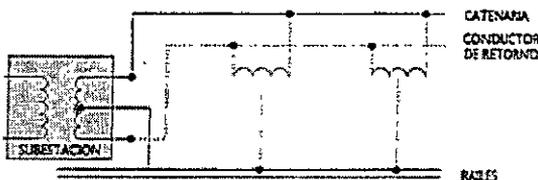


Fig 1d

Utilización de autotransformadores.

Un esquema del sistema se muestra en la figura 1d.

La línea de tracción eléctrica incluye, además de la catenaria y los rieles, un conductor de alimentación y cada cierta distancia unos autotransformadores, conectados como se indica en la figura 1d.

Los autotransformadores obligan a que la corriente retorne por el conductor de alimentación, por lo que circula en sentido contrario a la de la catenaria. Su efecto es

similar al del sistema descrito en tercer lugar. La catenaria es continua, por tanto no se produce el cortocircuito descrito en el sistema 3.

El conductor de alimentación debe situarse lo más próximo posible de la catenaria, de forma que se minimice el área del bucle formado por ambos hilos.

Amónicos

La máquina de tracción incluye un rectificador de la señal alterna, habitualmente mediante tiristores.

Por tanto se genera una señal con un elevado contenido en armónicos, que se transmite a la línea de tracción y se inducen tensiones a dichas frecuencias en los circuitos de telecomunicación próximos. La máquina debe incluir un filtro supresor de interferencias que reduzca la emisión de los armónicos hacia la línea de tracción.

EFFECTOS PERTURBADORES

a) Potencial de tierra

La circulación de una corriente por tierra, procedente de la inyección de corriente provocada por un cortocircuito entre la catenaria y el suelo, origina al propagarse una elevación del potencial de tierra que puede afectar a las tomas de tierra próximas.

La variación de potencial tiene forma de hipérbola, disminuyendo al alejarse del punto donde se produce la inyección de corriente a tierra. El potencial es función de la distancia entre el lugar donde se ha producido el fallo y la toma de masa, de la corriente inyectada a tierra y de la conductividad del terreno. Tiene un valor máximo que es el del potencial del punto donde se produce la introducción de la corriente hacia tierra.

Además debe añadirse que las masas metálicas próximas, con una conductividad superior a la del terreno, sirven de camino más fácil para la corriente, modificando por tanto la distribución de corrientes por el suelo.

Una aproximación al problema consiste en suponer que la corriente se distribuye de forma homogénea en la tierra, esto conduce a la siguiente expresión:

$$U = \frac{\rho}{2 \pi x} I_d$$

siendo,

U = Potencial en voltios.

P = Resistividad del suelo en ohmios por metro

x = distancia en metros

I d = Corriente en el punto del fallo en amperios

b) Efecto eléctrico

La presencia de un conductor a un potencial elevado provoca la aparición de una cierta distribución de cargas en los conductores próximos. Este efecto se traduce en el posible paso de una corriente a través de una persona que este en contacto con un conductor de la línea de telecomunicación y tierra. La corriente máxima autorizada es de 10 mA.

Se calcula a partir de los datos geométricos, que nos permiten evaluar las capacidades entre los diferentes hilos y las de cada uno de ellos a tierra.

Este efecto es importante únicamente en el caso de paralelismo muy largo (varios km) y distancias muy cortas entre las líneas de tracción y comunicaciones.

c) Efecto magnético

El bucle formado por un conductor de telecomunicación, sus admitancias terminales y el plano efectivo de masa está sometido a la acción de un campo variable procedente de la línea inductora. Por tanto, de acuerdo con la ley de Lenz, se induce en el una fuerza electromotriz.

Es el efecto perturbador más importante (aunque, por supuesto, todos deben tenerse en cuenta). En el apartado 4 se describe el método de cálculo.

Las diferentes situaciones que se consideran son las siguientes.

- ❖ Cortocircuito: En el caso de un cortocircuito entre la catenaria y el suelo las corrientes que circulan por la línea de tracción inducen tensiones elevadas en la de comunicaciones, con riesgo para las personas.
- ❖ Régimen permanente: Durante el funcionamiento normal se estudian los dos casos siguientes:
 - a) La tensión inducida respecto del suelo a 50 Hz.
 - b) El ruido sofométrico, considerando los armónicos generados por la máquina.

Limites

Los limite admisibles están regulados por las recomendaciones del CCITT [5], y son los siguientes:

1. Se admite que en el caso de que una persona este en contacto por una parte con tierra o con un conductor unido a tierra y por otra con los conductores de una línea de telecomunicación, el limite máximo de corriente por su cuerpo es de 10 mA, si esta se debe a la influencia eléctrica.
2. Se admite que existe peligro para una persona que este en la situación indicada en el caso anterior cuando la fuerza electromotriz longitudinal inducida es superior a 60 volts, estando la línea inductora en su funcionamiento normal.
3. Se admite que existe peligro para una persona que este en la situación indicada en el punto primero, cuando la fuerza electromotriz longitudinal inducida es superior a 430 volts., estando la línea inductora afectada de un cortocircuito entre la catenaria y el suelo.
4. La fuerza electromotriz sofométrica de ruido entre bornas en el extremo del abonado no debe sobrepasar el valor de Imv., calculado considerando la línea en funcionamiento normal y a partir de los armónicos generados por la máquina.

MÉTODO DE CALCULO

Simplificaciones

Las simplificaciones adoptadas son las siguientes:

(a) Las líneas, tanto del ferrocarril como telefónicas, se consideran como líneas quebradas a una altura constante sobre el nivel del suelo.

(b) La resistividad del suelo se considera constante en cada segmento.

(c) Se considera despreciable el efecto de la línea perturbada sobre la perturbadora.

(d) Se asume una situación cuasi-estática, que equivale a despreciar los retardos debidos a la velocidad finita de propagación de las ondas electromagnéticas.

Inductancia mutua entre las líneas de tracción y telefónica

Según la teoría de imágenes y los trabajos de Carson y Dubanton [3], se supone que la corriente de retorno por tierra está concentrada en un plano ficticio a una profundidad p (compleja) bajo la superficie real de la tierra, siendo:

$$p = (1 - j) \sqrt{6} / 2 \quad (6 = \text{profundidad de penetración}).$$

la expresión de la inductancia mutua por unidad de longitud es:

h_i = Altura del hilo sobre el nivel del suelo.

$d_{k|}$ = distancia horizontal entre los hilos k y l

Cálculo de la tensión por cortocircuito

La fuerza electromotriz inducida en cada tramo de la línea telefónica [7] viene expresada por:

$$E = |Z_m| |J|$$

siendo:

Z_m = Inductancia mutua por unidad de longitud

J = Corriente inductora en cortocircuito

l = longitud del tramo inductor

El cálculo debe repetirse para todas las posibles posiciones del cortocircuito

Cálculo de la tensión en régimen permanente.

El cálculo es análogo al anterior, sin más que sustituir la corriente inductora por su valor en régimen permanente a 50 Hz y repetido para las posibles posiciones de la máquina del tren [6], [7].

Cálculo del ruido sofométrico

Circuito equivalente de la línea perturbada

La línea telefónica se modeliza mediante un circuito de parámetros concentrados, que representa a los conductores y su retorno por tierra, más las impedancias y admitancias terminales. La longitud total se divide en $n-1$ células (ver fig. 2) de longitud inferior a 500 m. y con longitudes y parámetros diferentes.



Figura 2. Subdivisión en células

Cada célula se representa mediante un circuito en π , tal como se indica en la figura 3, siendo:

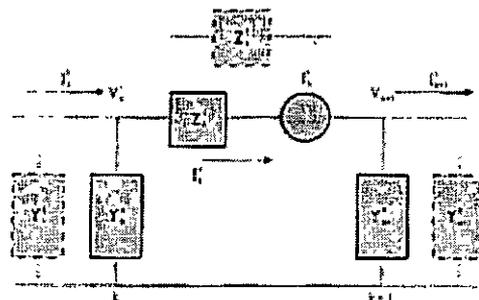


Figura 3. Circuito equivalente de una célula

$[I]_k$ Vector de corrientes longitudinales en la sección k

$[V]_k$ Vector de potenciales en la sección k

[F] k Vector de f.e.m. Longitudinales inducidas en la sec k

[Z] k Matriz de impedancias en la sección k

[Y] k Matriz de coeficientes de admitancia en la sección k

El vector de f.e.m. Longitudinales correspondientes a cada armónico se calcula con el mismo procedimiento que el indicado en el cálculo de la tensión en régimen permanente, considerando que la impedancia mutua y la corriente inductora dependen de la frecuencia y por tanto serán distintas para cada uno de los armónicos [6].

Los elementos pasivos del circuito equivalente, matrices [Z] e [Y], se calculan siguiendo el criterio de comparación de energía, es decir, la energía del sistema real, expresada mediante la formulación de campos, debe coincidir con la del circuito equivalente expresada mediante sus parámetros.

Relacionando ambas formulaciones aplicadas a la geometría del cable telefónico, y con las simplificaciones antes indicadas, se obtienen [4] [6] los valores de los diferentes elementos pasivos del circuito equivalente.

Cálculo sobre el circuito equivalente

Considerando las n-1 secciones (fig. 2), se deduce que:

$$[Z]_k [I]_k [V]_k - [V]_{k+1} + [F]_k \quad (k = 1, \dots, n-1)$$

Dados los n nodos, tenemos que:

$$[Y]_k [V]_k = [I]_k$$

$$[Y]_k [V]_k = [I]_{k-1} - [I]_k \quad (k = 2, \dots, n-1)$$

$$[Y]_n [V]_n = [I]_{n-1}$$

Las expresiones anteriores conducen a un sistema de ecuaciones, cuya solución nos proporciona el valor de la tensión en cada nodo. Puesto que la matriz [F], en cada tramo, es función de la corriente perturbadora que lo genera, el sistema debe resolverse para cada uno de sus armónicos.

El ruido sofométrico V_{so} en ambos extremos de la línea, vendrá dado por la fórmula:

Siendo:

- p_f coeficiente de peso sofométrico a la frecuencia f.
- P 800 peso sofométrico a 800 Hz.
- V_f diferencia de tensión entre los dos hilos del par telefónico

HERRAMIENTA DE CÁLCULO

Los cálculos de los diferentes efectos perturbadores, se han implementado en un programa de ordenador, denominado TAV - SUR, escrito en FORTRAN - VAX.

Este programa de ordenador permite, a partir de los datos de entrada (geometría, cable telefónico, admitancias terminales, corrientes perturbadoras, conductividad del terreno, etc.), calcular la tensión inducida para las diferentes posiciones del cortocircuito y de la máquina, el ruido sofométrico en ambos extremos de la línea y el potencial de tierra a una cierta distancia de la línea de tracción.

En el documento [2], denominado Manual de Utilización, se describe el método para efectuar los cálculos y el formato de los ficheros correspondientes.

El programa consta de las siguientes partes:

a).- Procedimiento de comandos.

Permite visualizar en pantalla las diferentes opciones, seleccionar la opción deseada y encaminar el programa hacia la realización de los cálculos seleccionados.

b).- Programas de cálculo.

Permiten realizar los cálculos correspondientes a cada opción. Se describen en el manual de utilización.

Algunos resultados aparecen por pantalla, aunque todos, y de forma completa, se recogen en un fichero con objeto de que puedan ser consultados por el usuario.

En relación con la opción que realiza los cálculos de la inducción magnética sobre la línea de telecomunicación, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Para el programa TAV - SUR son datos de entrada las corrientes inductoras en cada tramo, en cortocircuito y en régimen permanente y para cada posible posición del cortocircuito o de la máquina. Las corrientes inductoras deben ser suministradas por RENFE, ya que dependen de las características de la línea de tracción.
- Los armónicos generados por la máquina que TAV-SUR considera, son los suministrados por RENFE [1].

En caso de que los filtros que incorpora la máquina fueran distintos o fuera otra la máquina de tracción, debe modificarse el fichero correspondiente, según se indica en el manual de utilización.

- Los parámetros Z e Y y las impedancias terminales utilizados en TAV- SUR responden al modelo experimental desarrollado en Francia y que al parecer les proporciona resultados aceptables en comparación con las medidas de campo que han realizado.

APLICACIONES

La fig. 4 muestra la disposición de la línea de tracción eléctrica (TAV) y la telefónica (TZ-3) en un tramo de la futura línea Madrid Sevilla. En este tramo se han realizado los estudios que se describen a continuación, lo cual constituye un ejemplo de aplicación del método de cálculo.



Figura 4. Disposición relativa TAV/ Línea Telefónica

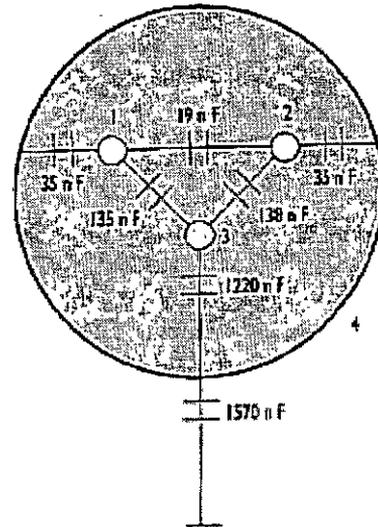


Figura 5. Capacidades distribuidas.

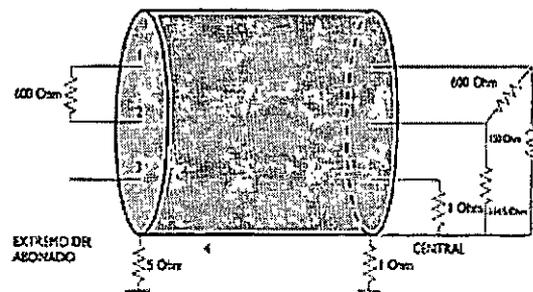


Figura 6. Impedancias terminales (cable)

Se han supuesto los casos de cable (fig. 5 y fig. 6) y de línea aérea de hilo desnudo (fig. 7).

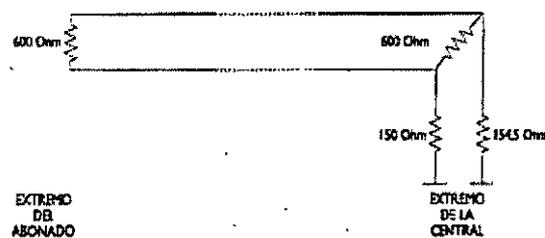


Figura 7. Impedancias terminales (hilo desnudo)

Los cálculos realizados se dividen en dos apartados:

- En el primero se estudia la influencia sobre el ruido sofométrico del desequilibrio terminal o de línea (capacitivo o resistivo).

- En el segundo se estudia la distribución de tensiones a lo largo de los nodos en los que se ha dividido la línea de telecomunicación.

Estudio del ruido sofométrico

Las fig. 8 y 9 muestran los valores de ruido sofométrico en función del desequilibrio capacitivo. La fig. 10 muestra dicho ruido sofométrico en función del desequilibrio terminal.

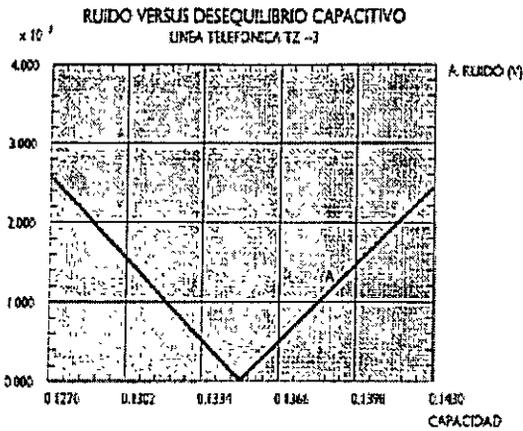


Figura 8. Ruido/ desequilibrio capacitivo (cable)

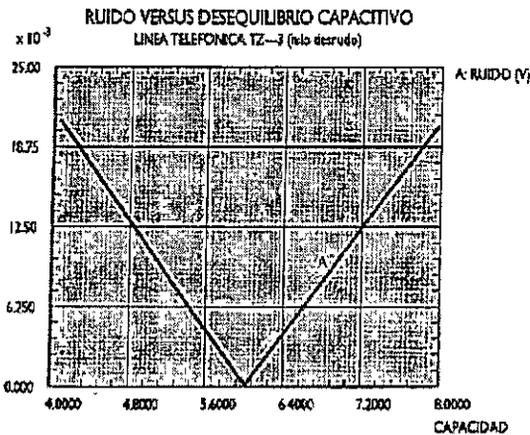


Figura 9. Ruido/ desequilibrio capacitivo (hilo desnudo)

De las gráficas anteriores se deduce que:

- El ruido es nulo cuando la situación es de equilibrio. Era previsible ya que es precisamente el desequilibrio el que transforma las tensiones longitudinales en

transversales, que son las percibidas en el terminal del usuario.

- Se puede observar la importancia que va a tener el desequilibrio terminal o de las líneas de las instalaciones situadas en las proximidades del trazado del TAV.
- El ruido es mayor en la situación de línea aérea de hilo desnudo que en el caso de cable.

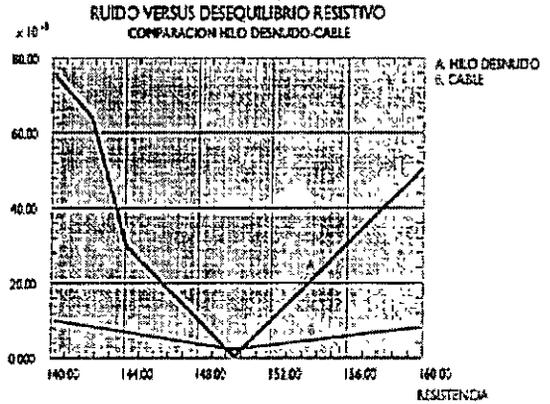


Figura 10. Ruido/desequilibrio resistivo

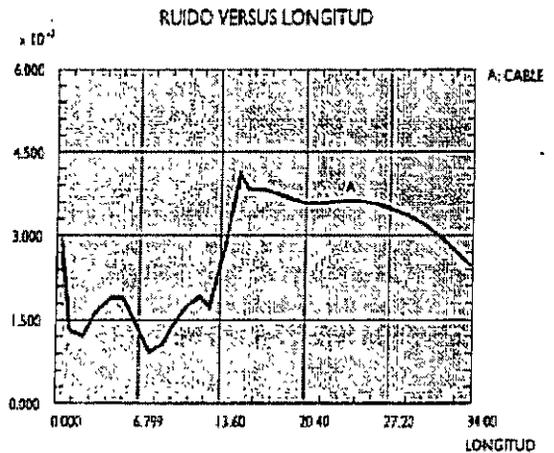


Figura 11. Ruido/Longitud

Estudio de las tensiones a lo largo de la línea.

La fig. 11 muestra los valores de ruido sofométrico entre los hilos del par a lo largo de la línea de telecomunicación, en el caso de un cable con desequilibrio terminal ($Y(8) = 1 / 154,5 \text{ mho.}$) y de línea ($C_x = 138 \text{ nF}$).

La fig. 12 muestra los valores de tensión respecto de tierra en los diferentes nodos de la línea en los casos de cable e hilo desnudo, para la frecuencia de 50 Hz. y de 850 Hz.

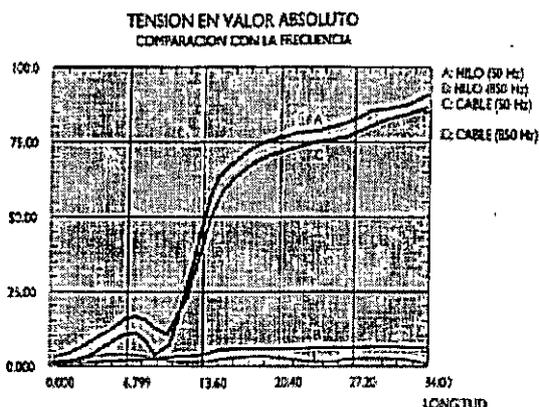


Figura 12. Tensiones absolutas/longitud

El programa de cálculo permite evaluar la distribución de tensiones a lo largo de la línea. Esto es especialmente importante a la hora de definir las necesarias protecciones frente a elevaciones de potencial superiores a las indicadas en los límites definidos por el CCITT, ya que permite detectar el tramo y zona realmente problemático, optimizando la solución.

CONCLUSIONES

El objetivo final del programa es obtener un soporte adecuado para evaluar las interferencias y las soluciones adoptadas para cumplir los límites especificados.

Se ha realizado un estudio teórico de los diferentes efectos perturbadores y del procedimiento de cálculo. Se ha desarrollado un programa de ordenador que permite calcular los niveles de interferencia.

Actualmente se están estudiando las protecciones idóneas frente a cada tipo de problema y en las diferentes situaciones posibles en planta, y está prevista la realización de medidas de campo.

De los primeros estudios se deduce que se van a obtener en muchos casos niveles de tensión y/o de ruido sofométrico superiores a

los permitidos por el CCITT, lo que obligará a modificar en su caso la red telefónica incluyendo elementos de protección.

En relación con el ruido sofométrico, el estudio realizado demuestra que es posible evaluar de forma cuantitativa la importancia del desequilibrio terminal o de línea en un caso práctico.

Es fundamental poder realizar un cálculo productivo que permita localizar el posible lugar y tipo de problema, sirviendo de soporte a la planificación de nuevas líneas, optimizando su diseño tanto desde el punto de vista técnico como económico.

REFERENCIAS

1. Telefónica I+D: "Proyecto de estudio de la compatibilidad electromagnética en el entorno del Tren de Alta Velocidad", Informe de la Fase 1, Sep., 1989
2. Telefónica I+D: "T.A.V. - SUR, Manual de uso provisional", Sep., 1989
3. A. Deri y G. Tevan, "Mathematical verification of Dubanton's simplified calculations of overhead transmission line parameters and its physical interpretation", Archiv f,r Elektrotechnik 63 (1981) pp. 191-198.
4. Ramo, "Campos y Ondas", Pirámide SA, 1974
5. CCITT: " Directives concernant la protection des lignes de Telecommunication contre les actions nuisibles des lignes electriques ", ed. 1963
6. CCITT: " Directives concerning the protection of Telecommunication lines against harmful effects from electric power and electrified railways lines ", volumen III, draft 1988.
7. Telefónica Sub. Gen. Tecnología "Protección de las líneas de telecomunicación contra las inducciones originadas por la corriente de cortocircuito entre una fase de una línea de energía y tierra", Norma técnica nt.7:00 1, dic. 1985.



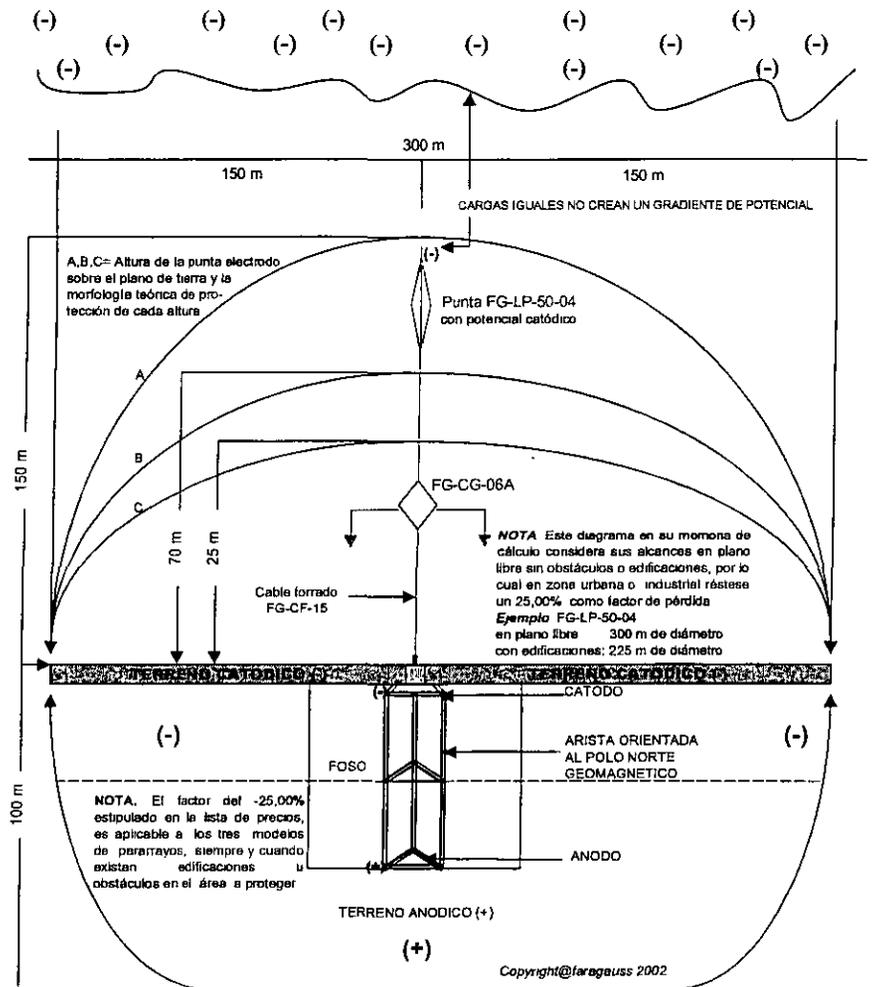
Restricción de área de cobertura del sistema pararrayos Faragauss

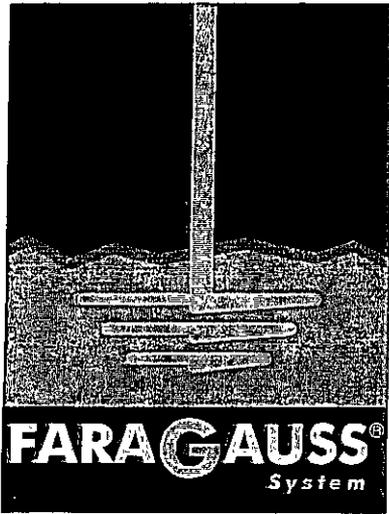
El área de protección teórica de un sistema pararrayos Faragauss está dada por la influencia catódica (-) del electrodo generador enterrado y su interacción con potencial conducido desde el suelo a la punta FG-LP50-04.

NUBE (S) DE BASE CATÓDICA O CARGA NEGATIVA

Contenido:

- Restricción de área de cobertura del sistema pararrayos Faragauss.





EL INTERIOR DE LA TIERRA

La tierra no es una esfera maciza. Tiene una superficie sólida, pero por dentro está formada por distintas capas y algunas son líquidas. En una sección del planeta, se observan tres capas principales: una capa exterior dura llamada corteza, el manto y el núcleo.

La estructura del planeta

La imagen 1 muestra las diferentes capas que forman la tierra, aunque no estén representadas a escala.

La capa más fina es la corteza, que tiene entre 5 y 70 Km de espesor. Bajo ella se encuentra el manto, que está compuesto de silicio y magnesio y tiene unos 3.000 Km de espesor.

En el manto, la parte superior y la inferior están hechas de roca, pero la capa intermedia está a una temperatura tan alta que esta roca se derrite y forma una sustancia espesa llamada magma. La capa sólida exterior y la corteza están flotando sobre esta capa líquida.

El núcleo probablemente está formado de hierro y níquel. El núcleo externo, que tiene unos 2.200 Km de espesor, está derretido, mientras que el núcleo interno es sólido. El núcleo interno tiene un espesor aproximado de 1.300 Km y una temperatura impresionante: unos 6.000 grados Celsius.

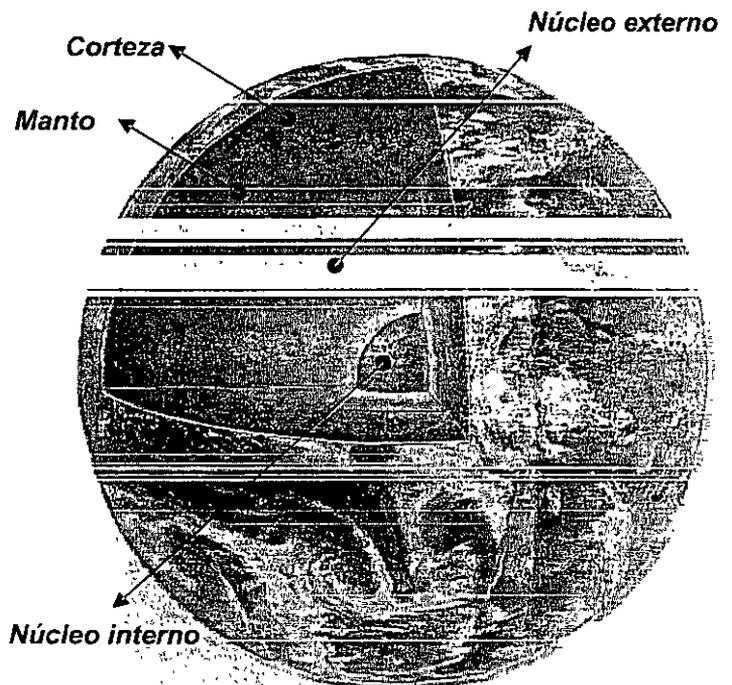
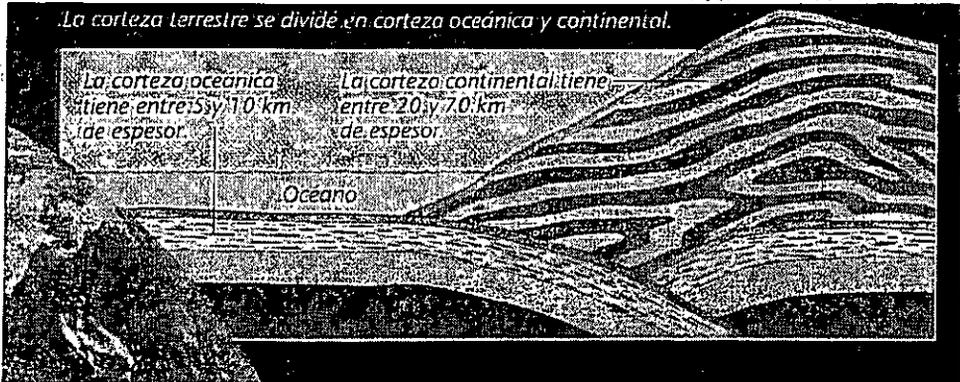


Fig. 1

La corteza terrestre

Existen dos tipos de corteza: la gruesa corteza continental, que forma las zonas de tierra firme, y la corteza oceánica, mucho más fina, que forma el suelo de los océanos. La corteza continental está hecha de una roca ligera llamada granito, mientras que la corteza oceánica se compone de una roca más pesada llamada basalto.



El planeta imantado

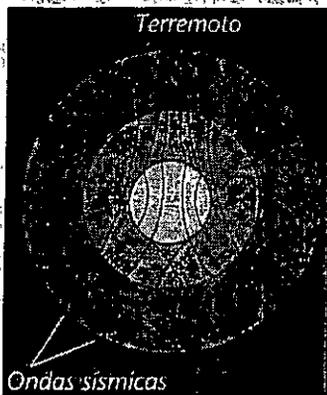
La causa del magnetismo de la Tierra podría ser el hierro derretido de su núcleo. Es como si la Tierra tuviera una enorme barra magnética en el centro. Los extremos de este imán se llaman polos magnéticos, pero no coinciden exactamente con los polos geográficos.

Investiguemos la Tierra

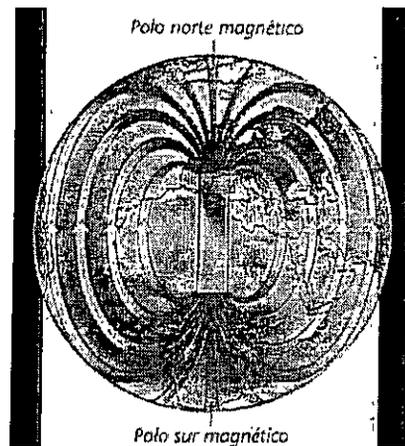
Recabar información sobre el interior de la Tierra es difícil. Los geólogos se dedican a estudiar las rocas, y para obtener datos excavan en la corteza y recogen muestras. El problema es que no pueden llegar a mucha profundidad.

Las erupciones volcánicas nos proporcionan datos sobre los materiales que hay en el interior de la Tierra. No obstante, para los geólogos, la mayor fuente de información sobre la estructura del planeta es el estudio de los terremotos o sismos. Cuando hay un terremoto, unas vibraciones denominadas ondas sísmicas atraviesan la Tierra. A medida que van pasando por los distintos materiales, las ondas cambian de velocidad y dirección. Los datos se recogen en sismogramas, que permiten a los geólogos saber qué tipo de rocas se encuentran a las distintas profundidades.

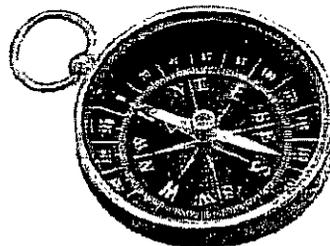
Este esquema muestra cómo cambian de dirección las ondas sísmicas cuando atraviesan la Tierra.



El siguiente esquema muestra el campo magnético de la Tierra y su radio de acción. Las flechas indican la dirección del campo magnético.



Esta fuerza magnética se puede comprobar con una brújula: su aguja está magnetizada y siempre señala el norte porque sufre la atracción del polo norte magnético.



La aguja magnética de una brújula siempre señala el norte.

LA CORTEZA TERRESTRE

La corteza terrestre está dividida en piezas enormes que encajan como si se tratase de un rompecabezas gigante, y se denominan placas tectónicas. Debido al movimiento de estas placas se han formado, con el paso del tiempo, los paisajes más espectaculares del planeta.

Una superficie móvil

La corteza terrestre está dividida en siete placas grandes y varias placas más pequeñas. Cada una de ellas está formada por corteza continental, oceánica o ambas. Los límites de las distintas placas se llaman bordes.

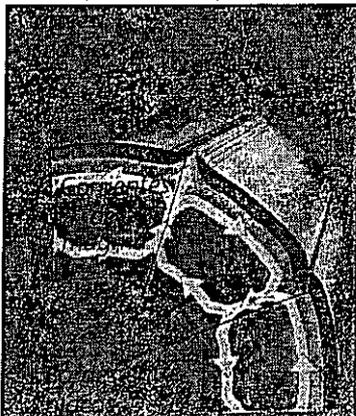
Las placas están flotando sobre el manto líquido y están en constante movimiento. Se mueven con lentitud, a unos 5 cm por año, más o menos la misma velocidad a la que crecen las uñas. Estas placas pueden chocar, separarse o deslizarse lateralmente. Como todas encajan entre sí, el movimiento de una de ellas afecta a las demás.

El relieve del océano

Cuando las placas del fondo oceánico se separan, el magma sube a taponar el hueco. Los bordes en los que ocurre este fenómeno se llaman bordes constructivos. Cuando el magma emerge, se endurece y crea nueva corteza oceánica, lo que a veces origina islas o cadenas montañosas submarinas, llamadas dorsales oceánicas.

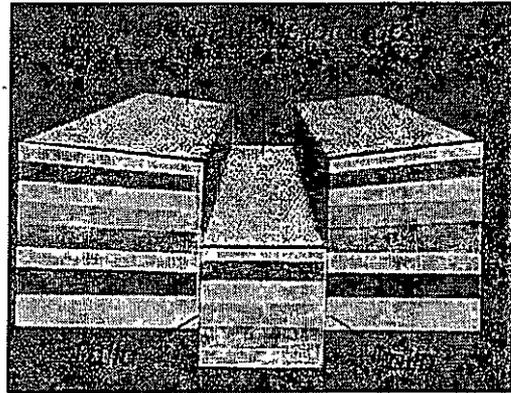
Las fosas submarinas se forman cuando dos placas tectónicas colisionan y una placa penetra a presión por debajo de otra, en lo que se llaman bordes destructivos. La fosa más profunda de todas es la fosa de las Marianas, en el océano Pacífico, cuya profundidad es mayor que la altura del monte Everest.

Este esquema muestra cómo se forman las dorsales y las fosas.



Las fallas

El movimiento de las placas tectónicas genera unas presiones que hacen que las rocas más frágiles de los bordes se agrieten, formando lo que se llaman fallas. Cuando hay dos fallas paralelas, la corteza que hay en medio puede hundirse y formar una fosa tectónica o rift. Las partes elevadas que quedan a ambos lados se llaman montañas de bloques.



LA ENERGIA DE LA TIERRA

Las rocas, los minerales y los fósiles contienen una energía que podemos utilizar. El petróleo, el gas y el carbón, que se transforman en calor y electricidad, se extraen de la Tierra, al igual que otras fuentes de energía, como la energía nuclear.

Los combustibles fósiles

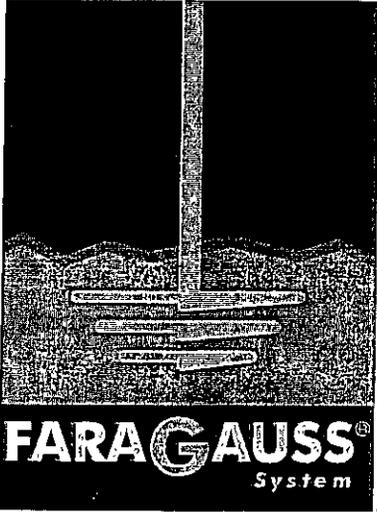
El carbón, el petróleo y el gas natural se llaman combustibles fósiles porque, al igual que los fósiles, se forman en el suelo con el paso del tiempo, a partir de plantas y animales muertos.

El carbón se forma a partir de árboles y plantas que murieron hace miles de años. Sobre ellos se depositaron sucesivas capas de arena y arcilla, comprimiéndolos hasta convertirlos en gruesos estratos subterráneos de carbón, llamados vetas o filones.



La extracción de carbón en una explotación minera a cielo abierto.

El petróleo se forma de la misma manera, pero a partir de los cuerpos de diminutas criaturas marinas. Se encuentran bajo el lecho marino o bajo tierra (porque algunas regiones que antes estaban bajo el agua ya no lo están). El gas natural se forma, si se dan determinadas condiciones, a partir de plantas y animales muertos.



La extracción

El carbón se extrae de minas, subterráneas o a cielo abierto, que son agujeros enormes excavados en el suelo. Para extraer petróleo y gas se utiliza una perforadora montada sobre una estructura llamada plataforma que perfora el suelo o el lecho marino. A veces el combustible brota de forma natural, pero se suele bombear agua dentro del orificio para extraer el petróleo o el gas.

Utilización

Cuando los combustibles fósiles se queman, liberan una energía que se utiliza para calentar edificios o para hacer funcionar motores. En las centrales eléctricas, el calor de los combustibles fósiles se transforma en electricidad.

El mundo depende de los combustibles fósiles, ya que proporcionan más de tres cuartas partes de la energía que utilizamos. Lo malo es que los usamos más rápido de lo que tardan en formarse, y se están acabando. Dentro de unos 200 años, la humanidad tendrá que recurrir a otras fuentes de energía.

Como muchos otros metales, el uranio no existe en forma natural, sino que se encuentra unido a otros minerales en una mena. Tras extraerse del suelo, el uranio se separa de su mena mediante reacciones químicas.

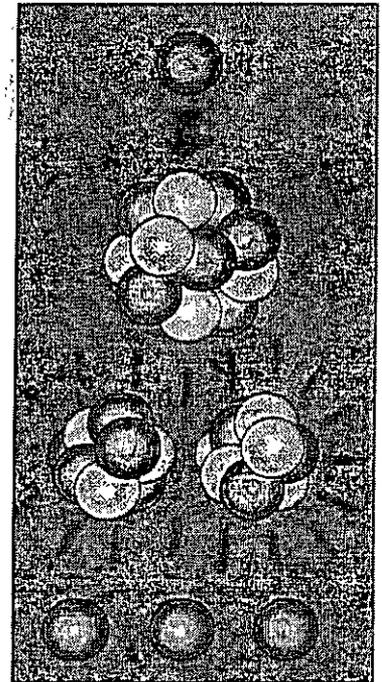
Este esquema muestra cómo generan energía nuclear los átomos de uranio.

Una partícula diminuta llamada neutrón se dispara contra un núcleo de uranio.

Éste es el núcleo o centro de un átomo de uranio.

El núcleo se divide y desprende calor.

Otros neutrones salen del núcleo y separan otros átomos de uranio.



Radiaciones

Algunos minerales son radioactivos, lo que significa que sus átomos (las diminutas partículas que los forman) son inestables.

Los minerales inestables se descomponen y envían partículas de rayos llamadas radiaciones que, cuando se descomponen, liberan un tipo de energía llamada energía nuclear. El mineral radioactivo más utilizado para generar este tipo de energía es un metal llamado uranio.



Contenido:

* Energía atmosférica

TORMENTAS

A veces, cuando hace calor, se forman con rapidez nubarrones enormes, que están llenos de agua y corrientes de aire muy veloces. Pueden generar electricidad suficiente para provocar rayos y truenos.

Nubes eléctricas

Cuando hace mucho calor y humedad, una gran cantidad de gotitas de agua ascienden a toda velocidad. A medida que suben y el aire se enfría, forman nubes altas e hinchadas llamadas cumulonimbus.

Dentro de la nube se produce un rozamiento entre las gotas de agua y los cristales de hielo debido a los remolinos de aire. Esto hace que ambos acumulen una fuerte carga eléctrica, algunos negativa (-) y otros positiva (+). Las cargas negativas se agrupan en la parte inferior de la nube, lo que hace que haya una enorme diferencia de energía entre la nube y el suelo, que frecuentemente tiene carga positiva.

Esa diferencia llega a crecer tanto que necesita igualarse, y una chispa gigantesca surge desde la nube hasta el suelo o de este a ella para compensar las cargas. Esas chispas son los rayos o descargas atmosféricas.

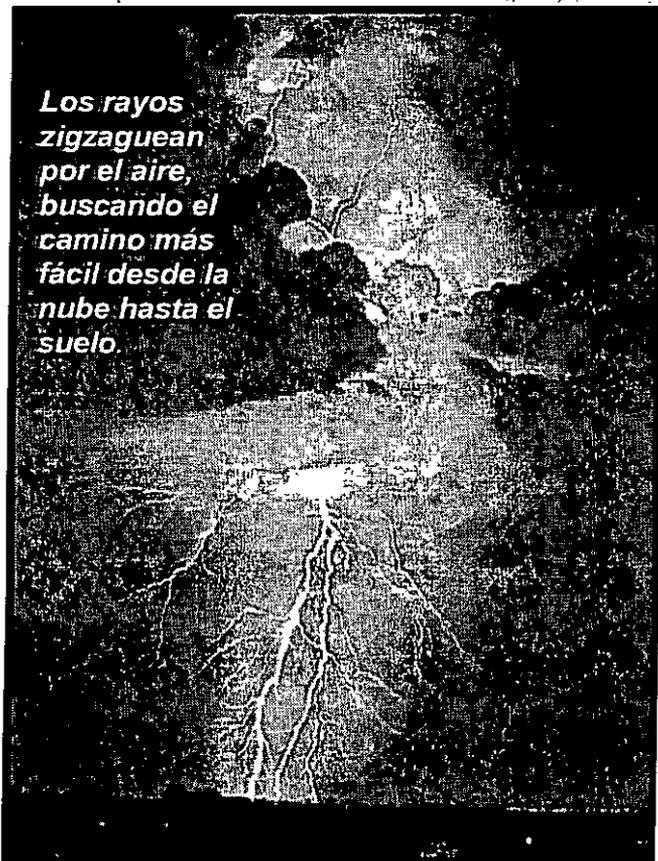


En la imagen vemos desde arriba una nube de tormenta o cumulonimbus

El rayo

La trayectoria de un rayo es primero descendente y después ascendente. La trayectoria inicial de la descarga es invisible y va desde la nube al suelo, señalando el camino para la descarga de retorno desde el suelo hasta la nube, que es la que vemos.

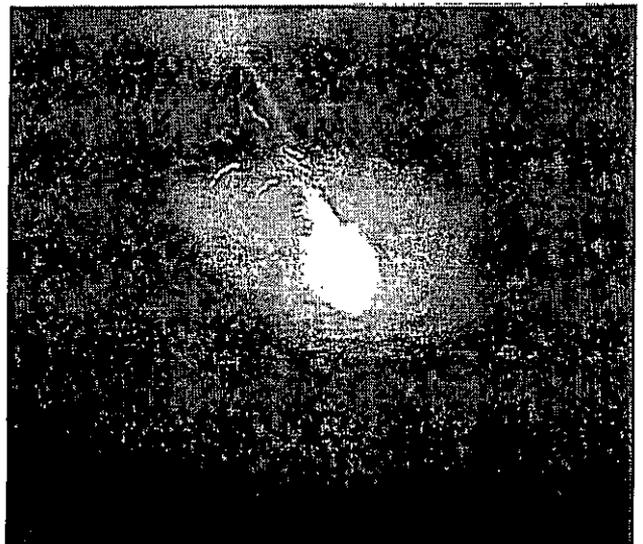
La descarga contiene tanta energía que calienta el aire que le rodea. El calor hace que el aire se dilate con rapidez y provoque una explosión, que es el ruido del trueno.



Rayos peligrosos

Los rayos siempre toman el camino más corto entre la nube y el suelo. Por eso suele alcanzar los lugares altos, los edificios o los objetos prominentes, como los árboles o las personas.

Un rayo calienta rápidamente todo lo que toca. Si cae sobre un árbol, el agua que éste contiene hierve al instante y se convierte en vapor, lo que hace estallar el tronco. Aunque los rayos son peligrosos, no suelen caer sobre la gente. Para estar a salvo durante una tormenta, lo mejor es evitar los árboles y los espacios abiertos.



Los rayos de bola son un tipo poco conocido de rayos que parecen una pequeña bola flotante de luz. Puede atravesar PAREDES y se han visto en el interior de edificios y aviones.

**TELESCOPIO CAPTO PRIMERA LUZ DEL
UNIVERSO**

Logro científico, registrado en el desierto de Atacama, plantea la necesidad de reformular la física fundamental.



Que el cosmos se expandirá indefinidamente y que sólo el 5 por ciento de él corresponde a materia tal como la conocemos, son algunas de las conclusiones tras la presentación de la imagen de la luz más antigua emitida por el universo, que se realizó hoy en la casa Central de la Universidad de Chile.



FARAGAUSS
System

Contenido:
❖ Primera Luz del
Universo

El logro científico fue presentado por el astrónomo del Instituto Tecnológico de California (CalTech), Prof. Anthony Readhead, y sus pares del Departamento de Astronomía de la Universidad de Chile, profesores Leonardo Bronfman y Jorge May, que conforman el equipo que detectó variaciones en la radiación de fondo cósmica. Una fotografía de estas fluctuaciones muestra las semillas de materia y energía que evolucionaron posteriormente hasta formar cúmulos de cientos de galaxias de 14 mil millones de años en llegar a la tierra.

“Este es un descubrimiento muy importante que implica cosas tan drásticas como tener que cambiar la física fundamental que conocemos”, dijo Readhead, subrayando que de acuerdo a esta nueva evidencia ya no son aplicables a ese nivel del universo las teorías de Newton, de la relatividad de Einstein, ni de la física cuántica.

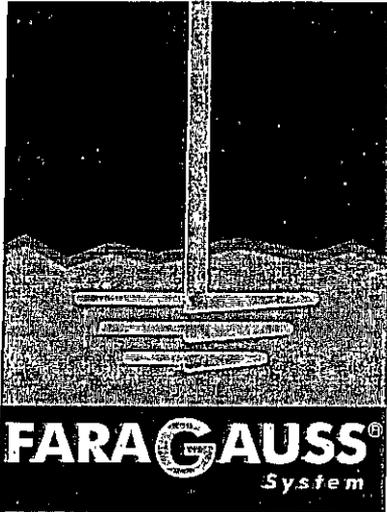
Según los resultados del experimento, el universo es abierto, es decir se seguirá expandiendo indefinidamente, aunque cada vez con menor velocidad, y plano, lo que implica que a un nivel macro es completamente válida la geometría euclidiana y dos paralelas nunca se cortarán. Sólo el 5% de él corresponde a materia “normal”, un 35% a “materia oscura” y un 60% a la llamada “energía oscura”, fuerza responsable de la expansión del cosmos, de la que todavía no se conoce casi nada.

La luz fue captada por su instrumento astrofísico conocido como Generador de Imágenes del Fondo del Universo (CBI, por “Cosmic Background Imager”), emplazado en el salar de Chajnantor, a 5 mil metros de altura en el altiplano chileno, cercano a San Pedro de Atacama. La iniciativa fue posible gracias a la colaboración científica de la U. de Chile y al terreno que proporcionó CONICYT, dentro de un área de protección científica que mantiene en la II Región. El proyecto fue financiado por la National Science Foundation (NSF) de los EEUU y el Instituto Tecnológico de California.

En la presentación participó, además la Directora del Departamento de Astronomía de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Corporación, Prof. María Teresa Ruiz, junto a docentes y alumnos de esta unidad académica, quienes asistieron posteriormente a una charla con el Prof. Readhead.

Serie de Colección

Copyright © 2000



LAS ANTENAS CELULARES, PELIGRO CERCANO

El lugar común de los usuarios de la telefonía celular es quejarse por el mal servicio. Las empresas que prestan el servicio han reaccionado con algo igualmente obvio: incrementar la instalación de las antenas que forman parte, de éste sistema de comunicación.

Patios, corrales, techos de casas, banquetas, cualquier sitio más o menos disponible ha sido utilizado para la colocación de estas antenas, que tienen una altura entre 15 v 40 metros. Muchas de ellas fueron instaladas en zonas densamente pobladas, pese a las protestas de los habitantes.

Ya existen consecuencias negativas. El 9 de septiembre, una antena se desplomó en la calle Prolongación Uxmal, en la colonia General Anaya, en la Ciudad de México. Murieron dos personas.

Otra fue construida en tiempo récord en la calle de Nattier, de la misma colonia. Y los vecinos no pudieron hacer nada para impedir su colocación. "Cuando nos enteramos de qué se trataba, ya estaba armado todo. La de México ya no será la Ciudad de los Palacios, sino de las Antenas", comenta Rafael Anguiano, habitante del lugar.

En Tepoztlán, Morelos, varias familias iniciaron un movimiento en contra de que se ponga en funcionamiento una antena de Telcel, instalada en una casa particular.

El 11 de agosto, Aída María de los Ángeles Ruiz Juyera, encargada de seguridad radiológica del Instituto Nacional de la Nutrición, recomendó que no se instalara esa antena en el barrio de Los Reyes, pues podría dañar a Jesús Demesa Hernández, paciente de esa institución.

"El enfermo -dijo por escrito Ruiz Juvera- nos ha comentado de la próxima construcción de una torre de microondas para teléfono celular, se recomienda no construirla en las cercanías de su domicilio, ya que el paciente sufre de problemas tiroideos, y ha recibido materiales radioactivos de yodo 131 en cuatro ocasiones. Por lo anterior no es conveniente que reciba microondas, para no incrementar su padecimiento tiroideo o provocar la aparición de cáncer en alguno otro de sus órganos.

La EMR Network -Organización Mundial de ciudadanos y profesionistas a favor del uso responsable de la radiación electromagnética- asegura que un estudio elaborado en Australia, patrocinado por Telstra y conducido por el doctor Michael Repachol, en el Hospital Royal Adelaide, reveló que el rango de cáncer en ratones expuestos a microondas pasantes del tipo GSM1 "se duplicó alta y significativamente a un poder de densidad igual a la transmisión de un teléfono celular por dos medias horas cada día".



EMR citó también un análisis de la Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (EPA), en el cual recomienda que las frecuencias electromagnéticas (EMF) sean clasificadas como "probables agentes cancerígenos humanos".

Otro estudio, que duró cinco años y en el que se invirtieron 5 millones de dólares, realizado por el doctor Bill Guy, de la Universidad de Washington, Seattle, demostró que dosis pequeñas de radiación de microondas, causan un exceso significativo de cáncer en ratas. Igualmente, la EPA encontró que una investigación de la Universidad de Washington ha demostrado la acción cancerígena de este tipo de radiación pulsada por radiofrecuencia.

El 7 de junio de 1997, el Washington Post informó que, a solicitud de la Fuerza Aérea de Estados Unidos, el doctor William Arthur Guy, de la Universidad de Washington, realizó un estudio sobre exposiciones prolongadas de bajo nivel. Encontró un incremento de tumores maligno, en glándulas endocrinas y en tumores benignos de glandulares en animales puestos a prueba. El estudio

también indicó que el sistema inmunológico presentaba disfunciones, ya que todos los animales murieron por infecciones.

Alfonso Ciprés Villarreal, presidente del Movimiento Ecologista Mexicano, asegura que en Estados Unidos, Inglaterra, Italia y los países nórdicos se han efectuado investigaciones que establecen que muy probablemente el incremento de casos de cáncer cerebral esté relacionado con el uso de teléfonos celulares.

Agrega que en Inglaterra, Escocia, Irlanda, Francia, Noruega e Islandia se prohibió el uso de celulares a menores de 12 años, ya que podrían afectar su sistema nervioso en formación, presentar envenenamiento, genético y cáncer cerebral. En México, de 10 millones de celulares, 300 mil son usados por menores de edad.

Acepta que se desconoce el número exacto de antenas o torres de recepción de la señal de los celulares, pero estima que para finales del 2000 habrá 90 mil en territorio nacional, por lo que recomienda que las autoridades establezcan una norma que regule su instalación.



Earth Currents

Earth currents are well understood electrical phenomena. They are caused by both natural and man-made sources. There is no identified linkage between earth currents and any human disease.

Key Points

- Earth currents arise from both natural and man-made sources, including the magma in the earth's core, solar flares and the normal distribution and use of electricity.
- The Public Service Commission of Wisconsin (PSCW) has concluded that most measurable earth currents are the result of local electrical loads by the end consumer of electrical power.

We are all exposed to earth currents from the day we are born. No studies have indicated a linkage between our exposures to earth currents and any human disease.

Earth currents that result from faulted customer or utility equipment may cause very localized electrical system problems. When this occurs the problems are easily detected and can be properly addressed.

Questions and Answers

What are earth currents?

Earth currents are very low-density electrical currents that can be detected in the soil. Man-made currents can be DC (direct current) or AC (alternating current), depending on the source. The magnitude of these currents away from the points where they enter or leave the earth (metal conductive objects connected to an electrical source) are generally very low. While humans cannot detect these currents, specialized and sensitive equipment can measure the voltage gradient that results on the surface of the earth. These voltage measurements can be used to quantify the presence and strength of earth currents in a specific area.

How are earth currents produced?

We know that earth currents are the result of both natural and human activities. The movement of molten magma deep inside the earth is believed to create some earth currents, while solar flares are another source. The earth's magnetic field, which causes a compass to point north, is evidence of earth currents. Since electrical systems are connected to the earth for safety reasons, man-made sources of earth currents include high voltage electrical transmission systems, multi-grounded electrical distribution systems, house, farm or business wiring systems, and cathodic protection systems. Other sources include electromagnetic broadcast signals from radio, television and communication systems. The PSCW has concluded that most measurable earth currents are the result of local electrical loads and grounding systems by the end consumer of electrical power.

How do we measure earth currents?

We can't measure earth currents directly. However, as the currents pass through the soil they encounter electrical resistance. This results in very small voltage differences at the surface of the earth. These are called earth surface voltage gradients. These voltage gradients can be easily measured with a standard voltmeter. The magnitude of the voltage and the distance between the measurement points allow for a meaningful analysis of the presence and amount of earth currents.

Am I exposed to earth currents?

Exposure might be too strong a word, but in fact earth currents, both natural and man-made, surround us. With the exception of very unusual situations, such as an electrical fault, we generally are not aware of earth currents. We have lived in the presence of earth currents since our birth, and man-made earth currents have existed for over a century beginning with the widespread use of electricity.

Why do electrical systems use the earth as a ground?

Electrical codes require that all conductive objects, including electrical systems, that may become accidentally energized, are grounded (or connected to the earth) for safety. These include cable systems, plumbing, barn metal, television antennas, street lights and household appliances, to name a few. The electrical system in the United States uses a four-wire distribution system that includes a grounded wire directly connected to the soil. This connection to the earth is a safety measure that has been used for over 100 years to provide a high level of protection from accidental contact with currents that could result in electrocution. The PSCW requires Wisconsin's utilities to follow stricter grounding requirements than nationally recognized standards. Three-pronged electric cords and the ground fault interrupter receptacles that we commonly have in our bathrooms or kitchens are a reminder of the life-saving value of this ever present grounding system.

Do earth currents cause problems?

Generally these currents are not a problem because we are rarely exposed to them at levels known to be harmful. The large mass and three-dimensional nature of the soil quickly dissipate the current and keep earth current density low. At this time no research has documented any health effects from earth current exposures.

Do I need to worry about or avoid earth currents?

It is impossible to avoid earth currents. However, you can take precautions to avoid creating very localized situations at your home, farm or business by ensuring that any new installation or modification of existing wiring conforms to the National Electric Safety Code (NESC). All electrical system work should be performed by a state certified electrician to insure the proper placement and connection of ground rods and grounding conductors.

What are MREC member utilities doing?

MREC member utilities continue to support research for improving the efficiency and maintaining the safety of our distribution system. All distribution upgrades follow both PSCW and NESC requirements to minimize the potential generation of earth currents. Finally, we provide guidance to customers who have a question, concern, or potential problem arising from abnormal localized earth currents.

How can I obtain more information?

If you have specific questions about earth currents, contact your electric utilities directly or visit our website at www.mrec.org.



Telluric Currents: The Natural Environment and Interactions with Man-made Systems

16

LOUIS J. LANZEROTTI
AT&T Bell Laboratories

GIOVANNI P. GREGORI
Istituto di Fisica dell'Atmosfera, Rome

INTRODUCTION

Telluric currents consist of both the natural electric currents flowing within the Earth, including the oceans, and the electric currents originating from man-made systems. Telluric currents could also be considered to include geodynamo currents, i.e., the electric currents that are presumed to flow in the Earth's core and are responsible for the generation of the "permanent" geomagnetic field. This review excludes geodynamo considerations from its purview.

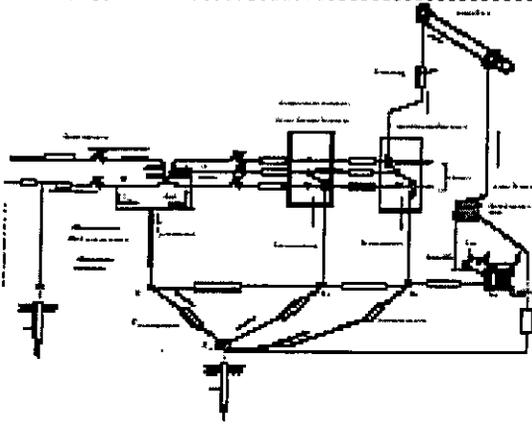
There has been an evolution (see Appendix) in the terminology in the English-language scientific literature related to telluric currents. A common former term used for telluric currents has been "Earth currents," a term that was widely used by Chapman and Bartels (1940) in their classic work, whereas Price (1967) preferred "telluric currents." A difference between the two terms can be recognized in reading historical papers: an impression is obtained that Earth's currents was the name applied to the natural currents (or, more properly, voltages) that are measured between two electrodes which are grounded at some distance apart. Independent of the cause, the observed current was termed an Earth's current. It later became evident that electric currents also flow in seawater. Therefore, the term telluric currents can be interpreted to include currents flowing both

within the solid Earth and within the seas and oceans. However, we note that Earth currents and ocean currents do not form independent electric-current systems. On the contrary, leakage currents exist between continental areas and oceans (see, e.g., references in Gregori and Lanzerotti, 1982; Jones, 1983). In the early French and Italian scientific literature on the subject, however, the term telluric (derived from the Latin *tellus*, for Earth) was always used (e.g., Blavier, 1884; Battelli, 1888; Moureaux, 1896).

The fundamental causes of telluric currents are now believed to be understood. They are produced either through electromagnetic induction by the time-varying, external-origin geomagnetic field or whenever a conducting body (such as seawater) moves (because of tides or other reason) across the Earth's permanent magnetic field. Both causes produce telluric currents, which, in turn, produce magnetic fields of their own—fields that add to the external origin geomagnetic field and produce a feedback on the ionosphere current system (a feedback that, however, is negligible; see, e.g., Malin, 1970).

The complexities associated with telluric currents arise from the complexities in the external sources and in the conductivity structure of the Earth itself. Such complexities have led earlier workers to make statements such as "the simple laws of electromagnetic induction do

Identify Stray and Neutral to Earth Voltage Impacts and Controls



BACKGROUND Elevated neutral to earth voltage (NEV) and metallic object to earth voltage has long been an area of concern and subjective interpretation for utilities, regulators, and the public. Sources range from induction of voltage onto metallic infrastructure (such as conduits, water pipes, and gas pipes) to unanticipated current paths created by grounding configurations and connection impedances. While steady state 60Hz stray voltage and elevated NEV issues have been a long standing concern, the increasing use of non-linear (or harmonics generating) electronic equipment—such as variable speed drives, personal computers, and residential appliances—are continually adding to these elevated voltage potentials. Additionally, the impact of momentary or transient neutral to earth voltage has become a more recent topic of study.

There is an industry need to establish measurement protocols, to better understand the coupling issues related to stray voltages, and to identify cost effective solutions.

There are numerous stray and elevated voltage concerns, including:

- Safety concerns related to touch potential
- Animal health and productivity
- Current carried on residential water and gas pipe lines
- Harmonic frequency voltages imposed on industrial gas lines by non-linear loads

There are numerous concerns related to stray voltage, but no systematic means to measure the actual impacts or implications of stray voltages. This research aims to deliver consistent, repeatable stray voltage measurement, assessment and mitigation methodologies.

- Power circuit resonance conditions creating magnified stray voltage potentials
- Metallic pipe corrosion concerns
- Impacts of power line carrier communications technologies and other transient switching devices on stray voltage magnitudes
- Impacts of new gas and water line installations in power line right of ways

While research has been conducted in most of these areas, there is a lack of consistency in terms of quantifying the impacts, and whether or not a specific measured value is at or below a specified "level of concern."

This research project will provide electric utilities and regulatory organizations with an opportunity to better understand the range of issues surrounding the subject of measurable voltage levels at human and animal contact locations and to benefit from some unbiased and credible research geared toward developing acceptable methods to evaluate and address elevated voltage concerns.

PROJECT SUMMARY This project is designed to assess the important concerns associated with elevated neutral to earth and metallic object to earth voltages at human and animal contact points by promoting consistent and repeatable assessment methodologies, hosting workshops, and creating a "case study" and "general information" repository. These and other project efforts shall be geared toward expediting problem identification and resolution.

participating organizations to receive customized services for specific problem areas while providing all funders with the collaborative benefits gained by aggregating the knowledge of multiple studies, surveys, and applied mitigation techniques.

Sponsors will be able to customize their membership in the projects to include any or all of the following:

- Web-based case study and information repository
- International regulatory assessments for established levels of concern
- Recommended practices for assessment of elevated voltage potential
- Informational and educational publications
- Informational hotline resource where subject matter experts can respond to questions and concerns
- Web-based workshops and web conferencing
- Modeling and simulation services
- Site survey support services

DELIVERABLES

1. Access to the web-based case study and information repository
2. Publications (or commentaries) on the causes of elevated voltage potentials, levels of concern and mitigation options
3. Report on recommended practices for performing stray voltage and elevated voltage potential assessments
4. Webcasts, 30 hrs of hotline access
5. Optional: deliverables for site audits and modeling/simulation results are based on negotiated contracts and pricing for those specific tasks
6. Optional: customized training or workshop opportunities, which is based on negotiated contracts and pricing

been assessing stray voltage related issues beginning with elevated voltage potentials on gas pipelines, publications on swimming pool shocking concerns, and commentaries on animal sensitivities to stray voltage. EPRI PEAC has sponsored dairy cow testing, conducted field investigations, laboratory testing, and power system modeling to better understand the impacts of parametric variations on stray voltage levels. Sponsorship in this project brings an entire team of experts to your staff without very little cost and provides for independent third party assessment of the issues surrounding elevated NEV and stray voltages.

PRICE OF PARTICIPATION Participation in the collaborative effort is priced at \$50,000 (or \$25,000 plus \$25,000 Tailored Collaboration contribution).

The optional aspects of this research will cause the price of participation to vary, depending on the additional deliverables selected. For customized modeling and simulations or site audits, these costs will be quoted per a "request" basis and can be added into the total project pricing, or may be prepared as a separate project effort.

PROJECT STATUS AND SCHEDULE This project is open to participation and will begin as soon as funding is secured from the utility participants. The total duration of the project will be one year.

CONTACT INFORMATION For more information, contact EPRI Project Manager Ashok Sundaram at 650.355.2334 (asundara@epri.com), or EPRI PEAC Project Manager Deng Dong at 655.213.8005 (ddong@epri-peac.com).

© 2009 Electric Power Research Institute (EPRI), Inc. All rights reserved. Electric Power Research Institute and EPRI are registered service marks of the Electric Power Research Institute, Inc. EPRI, ELECTRIFY THE WORLD is a service mark of the Electric Power Research Institute, Inc.

 Printed on recycled paper in the United States of America

1009127