



**REGLAMENTO INSTALACIONES ELÉCTRICA PARA NAVÍOS “RIEN”
SEGUNDA PARTE**

DELFINA MARIA SANCHEZ ACOSTA

OSCAR DARIO SARMIENTO BARRETO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA

CARTAGENA DE INDIAS D.T.H Y C

DICIEMBRE DE 2008



**REGLAMENTO INSTALACIONES ELÉCTRICA PARA NAVÍOS “RIEN”
SEGUNDA PARTE**

**DELFINA MARIA SANCHEZ ACOSTA
OSCAR DARIO SARMIENTO BARRETO**

Monografía de Grado presentada como requisito para optar el Título de
Ingeniero Electricista

Minor Sistemas de Potencia

Director

Enrique Vanegas Casadiegos

Ingeniero Electricista, Especialista en Automatización Industrial

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T.H Y C
DICIEMBRE DE 2008**

ÍNDICE

	Pág.
DEFINICIONES	12
INTRODUCCIÓN	16
1. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA	18
1.1. INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA	19
1.2. FUENTES DE EMI	20
1.2.1. Fuentes naturales	20
1.2.2. Fuentes artificiales	21
1.3. MEDIOS DE ACOPLAMIENTO	21
1.4. MITIGACIÓN AL PROBLEMA DE EMC	22
1.4.1. Aterrizamiento	24
1.4.2. Apantallamiento	27
1.4.3. Protección contra sobretensiones (Arcs and Sparks)	32
2. SOBRETENSIONES Y APANTALLAMIENTO	35
2.1. SOBRETENSIONES DE ORIGEN INTERNO	36
2.1.1. Protecciones para sobretensiones Internas	36
2.1.1.1 Mecanismos de Protección	37
2.1.1.2 Dispositivos de Protección	37
2.2 SOBRETENSIONES DE ORIGEN EXTERNO	38
2.2.1. Protección para sobretensiones Externas	39
2.2.1.1 Intercepción de Rayos (Apantallamiento)	42
3. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	49
3.1. TIPOS DE FALLAS ELÉCTRICAS	51

3.2.	TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA	52
3.3.	SISTEMAS NO ATERRIZADOS	54
3.4.	SISTEMAS NO ATERRIZADOS PERFECTOS	54
3.5.	SISTEMAS NO ATERRIZADOS EN BUQUES	55
3.5.1.	Resistencias propias del sistema a tierra	57
3.5.2.	Capacitancias propias del sistema a tierra	58
3.5.3.	Filtros de EMI	59
3.6.	DETECTORES DE TIERRA	60
4.	CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES	61
5.	BIBLIOGRAFÍA	63
6.	ANEXOS	64
6.1.	ANEXO A. CALCULO PARA DETERMINR INDICE DE RIESGO REAL Nr.	64
6.2.	ANEXO B. PRECAUCIONES SOBRE UN SISTEMA AISLADO EN UN BUQUE	65
6.2.1.	Contacto con conductores.	65
6.2.2.	Desenergizar e Identificar los circuitos	66
6.2.3.	Trabajo sobre conductores energizados	66

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Componentes de la interferencia electromagnética	19
Figura 1.2. Medios de Acoplamiento	22
Figura 1.3. Métodos de uniones y ejemplos	26
Figura 1.4. Estructura General de un Cable Apantallado	28
Figura 1.5. Ejemplo de conexión de la tierra a la pantalla.	29
Figura 1.6. Conectores Apantallados	29
Figura 2.1. Distancia de Atracción del rayo	43
Figura 2.2. Zona de protección de acuerdo a la distancia de atracción	44
Figura 2.3. Método de la Esfera Rodante para zona de protección	45
Figura 2.4. Ubicación Termina captador y zona protegida	45
Figura 2.5. Ejemplos de terminales captadores (Pararrayos)	46
Figura 3.1. Sistema no aterrizado perfecto	55
Figura 3.2. Receptores en un hogar y en un buque	56
Figura 3.3. Sistema no aterrizado real	57
Figura 3.4. Ejemplo de un sistema aislado en un buque	58

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Pautas de diseño en la mitigación de EMI	23
Tabla 2.1. Nivel de protección según la eficiencia de la instalación	41
Tabla 2.2. Distancia de atracción según el Nivel de protección	44
Tabla 2.3. Distancia mínima entre bajantes según el Nivel de protección	47
Tabla 3.1. Valores máximos de tensión de contacto aplicada a un ser humano	51
Tabla 3.2. Ventajas y desventajas entre distintos SPT	53

Cartagena, 4 de Diciembre de 2008

SEÑORES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ATN: COMITÉ EVALUACIÓN DE PROYECTOS

CIUDAD

Cordial Saludo,

Me permito presentar ante ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el trabajo titulado “**REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA NAVIOS RIEN – SEGUNDA PARTE**” desarrollado por lo estudiantes DELFINA MARIA SANCHEZ ACOSTA y OSCAR DARIO SARMIENTO BARRETO, del cual participe como DIRECTOR.

ENRIQUE VANEGAS CASADIEGOS

INGENIERO ELECTRICISTA

Cartagena, 4 de Diciembre de 2008

SEÑORES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR

ATN: COMITÉ EVALUACIÓN DE PROYECTOS

CIUDAD

Cordial Saludo,

Nos permitimos de la manera más respetuosa presentar ante ustedes para su estudio, consideración y aprobación, el trabajo titulado **“REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA NAVIOS RIEN – SEGUNDA PARTE”** dirigido por el Ingeniero Enrique Vanegas Casadiegos y desarrollado por nosotros, como requisito parcial para obtener el título de ingeniero Electricista.

DELFINA SANCHEZ ACOSTA

C.C. 1128051363 de Cartagena

OSCAR SARMIENTO BARRETO

C.C. 1047373016 de Cartagena

AUTORIZACIÓN

Yo DELFINA MARIA SANCHEZ ACOSTA, identificada con Cedula de Ciudadanía de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso del trabajo titulado “**REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA NAVIOS RIEN – SEGUNDA PARTE**” y publicarlo en el catalogo ONLINE de la biblioteca.

DELFINA MARIA SANCHEZ ACOSTA

C.C. 1128051363 de Cartagena

AUTORIZACIÓN

Yo OSCAR DARIO SARMIENTO BARRETO, identificado con Cedula de Ciudadanía de la ciudad de Cartagena, autorizo a la Universidad Tecnológica de Bolívar a hacer uso del trabajo titulado “**REGLAMENTO DE INSTALACIONES ELECTRICAS PARA NAVIOS RIEN – SEGUNDA PARTE**” y publicarlo en el catalogo ONLINE de la biblioteca.

OSCAR DARIO SARMIENTO BARRETO

C.C. 1047373016 de Cartagena

Nota de aceptación

Jurado

Jurado

DEFINICIONES

AMBIENTE ELECTROMAGNÉTICO: La totalidad de los fenómenos electromagnéticos existentes en un sitio dado.

ATRACAR: Operación de colocar un buque al costado del muelle para asegurarlo por medio de sus líneas de amarre. Resistencia eléctrica y un haz luminosos.

BABOR: Lado izquierdo del barco, visto de popa a proa.

BAJANTE: Elemento conductor en contacto eléctrico con la instalación de interceptación de rayos y con el barraje equipotencial (BE), cuya función es derivar las corrientes de rayo que pueden incidir sobre la instalación por proteger.

BARRAJE EQUIPOTENCIAL: Punto de referencia al cual se conectan físicamente las partes de un circuito, tal que garantiza el mismo potencial, independiente de la condición de corriente en los conductores

CASCO: En un buque es la parte flotante en contacto directo con el agua, constituye el cuerpo propiamente dicho del mismo, formando por un conjunto de piezas distintas.

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA: Es la capacidad de un equipo o sistema para funcionar satisfactoriamente en su ambiente electromagnético, sin dejarse afectar ni afectar a otros equipos por energía electromagnética radiada o conducida.

CONDUCTOR ENERGIZADO: Todo aquel que no está conectado a tierra.

CONEXIÓN EQUIPOTENCIAL: Conexión eléctrica entre dos o más puntos, de manera que cualquier corriente que pase, no genere una diferencia de potencial sensible entre ambos puntos.

DENSIDAD DE DESCARGA A TIERRA (DDT): Número de descargas individuales (Strokes) a tierra por kilómetro cuadrado/año. Permite cuantificar la incidencia de rayos en la zona.

DESCARGA ELECTRICA ATMOSFERICA: Fenómeno atmosférico de transferencia de carga eléctrica positiva o negativa entre nube - nube o nube – tierra.

DISTANCIA DE ATRACCION: Longitud definida por el modelo electrogeométrico que es función exponencial de la corriente de retorno del rayo y que determina la posición de la estructura interceptora con respecto a la estructura protegida, o que permite establecer cuál es el área de cubrimiento de una estructura para una corriente dada.

EMBARCAR: acto de subir a bordo una embarcación.

EQUIPTENCIALIDAD: Principio que debe ser aplicado ampliamente en sistemas de puesta a tierra e indica que todos los puntos que deben ser puestos a tierra, deben estar interconectados con una puesta a tierra a través de una mínima resistencia.

ESTRIBOR: Costado o banda derecha de un buque, mirando de popa hacia proa.

INMUNIDAD: Es la capacidad de un equipo o sistema para funcionar correctamente sin degradarse ante la presencia de una perturbación electromagnética.

INTERFERENCIA ELECTROMAGNETICA: La interferencia electromagnética EMI se puede definir como señales de tipo electromagnético que perturban el normal funcionamiento de un sistema eléctrico o electrónico, afectando a las magnitudes eléctricas o magnéticas (tensión, corriente o campo electromagnético); deformando así su onda, esta se puede manifestar en la degradación, mal funcionamiento o falla de equipo eléctrico o electrónico.

MASA: Tierra de la embarcación.

MODELO ELECTROGEOMETRICO: Metodología que permite establecer cuál es el volumen de cubrimiento de protección contra rayos (zona de protección) de una estructura para una corriente de diseño (corriente del rayo especificada) según la posición y altura de la estructura interceptora. Este método se utiliza en el diseño de instalaciones de captación de rayos.

MUELLE: Estructura de hormigón que se extiende hacia el agua con el objeto de proporcionar un medio para el amarre de los buques.

PARARRAYOS: Elemento metálico resistente a la corrosión, cuya función es interceptar los rayos que podrían impactar directamente sobre la instalación a proteger. Más técnicamente se denomina terminal de captación.

PERTURBACIÓN ELECTROMAGNÉTICA: Cualquier fenómeno electromagnético que puede degradar las características de desempeño de un equipo o sistema

POPA: Extremidad posterior.

PROA: Es la extremidad delante del casco, en cuyo sentido marcha normalmente el buque. Constituye esta sección el tercio interior del buque.

PUESTA A TIERRA: Grupo de elementos conductores equipotenciales, en contacto eléctrico con el suelo o una masa metálica de referencia común, que distribuye las corrientes eléctricas de falla en el suelo o en la masa. Comprende electrodos, conexiones y cables enterrados.

RAYO: La descarga eléctrica atmosférica o más comúnmente conocida como rayo, es un fenómeno físico que se caracteriza por una transferencia de carga eléctrica de una nube hacia la tierra, de la tierra hacia la nube, entre dos nubes, al interior de una nube o de la nube hacia la ionosfera.

SISTEMA DE PUESTA A TIERRA (SPT): Conjunto de elementos conductores continuos de un sistema eléctrico específico, sin interrupciones, que conectan los equipos eléctricos con el terreno o una masa metálica. Comprende la puesta a tierra y la red equipotencial de cables que normalmente no conducen corriente.

SOBRETENSION: Tensión anormal entre dos puntos del sistema, que es mayor que el valor máximo presentado entre los mismos dos puntos bajo condiciones de servicio normal. Las sobretensiones suelen ser temporales o transitorias.

INTRODUCCIÓN

Existe una tendencia mundial en cuanto a la reglamentación de todos los procesos industriales del hombre, la cual consiste en la búsqueda de la seguridad humana y la preservación del medio ambiente. Y a su vez, todo lo anterior bajo un marco de calidad y productividad.

El sector energético, y siendo más específico el sector eléctrico, no escapa a esta directriz. La reglamentación de las instalaciones eléctricas en procura de tener sistemas cada vez más seguros y eficientes pasó de ser de una necesidad a ser una realidad. De ahí que en nuestro país, el Gobierno Nacional, a través del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) exija el cumplimiento de los requisitos mínimos de seguridad y eficiencia en toda instalación eléctrica.

A pesar de lo anterior, este reglamento tiene un campo limitado de acción, por lo que ciertos ambientes que presentan características particulares, ya sea por disposición física o por características técnicas, no se encuentran establecidos dentro de los lineamientos legales del RETIE. Dentro de estos casos de excepción se encuentra las instalaciones eléctricas en navíos.

A este evento surgió una primera respuesta consignada en un trabajo de grado titulado Reglamento Instalaciones Eléctricas para Navíos “RIEN”, con el propósito de suplir la necesidad existente de crear una herramienta cuyo cumplimiento conlleve a la seguridad de los tripulantes a bordo de una embarcación, manteniendo obviamente la integridad de la instalación eléctrica. Por otro lado, la consecución de este reglamento permitiría además de lo anterior, a una mayor competitividad para la industria naval de nuestro país con respecto a la región y al mundo.

El RIEN se encuentra en una primera fase de estructuración, con vista a un futuro desarrollo. En esta ocasión la extensión agregada al RIEN contendrá los lineamientos de diseño para la instalación del sistema de puesta a tierra en un buque, y el sistema de apantallamiento ante sobretensiones causadas por rayos, todo lo anterior bajo los criterios que conlleven a una instalación que presente una adecuada compatibilidad electromagnética.

Los efectos de las interferencias electromagnéticas en los sistemas electrónicos se han venido incrementando debido al alto componente de equipos construidos con dispositivos electrónicos, denominados sensibles por su vulnerabilidad ante los disturbios electromagnéticos; es por esto, que en el primer capítulo se ofrecen lineamientos básicos, que evitaren en gran medida la aparición de esta clase de fenómenos para evitar que el equipamiento a bordo sufra deterioros que comprometan su operación y vida útil.

El capítulo dos enmarca el estudio de las sobretensiones que pueden presentarse en la embarcación, están identificados los riesgos de exposición por descargas eléctricas atmosféricas y maniobras que ponen en peligro no solo a las personas a bordo, sino a los equipos que se vean sometidos a las mismas, brindaremos parámetros básicos para la valoración de protecciones.

En el siguiente capítulo describe las características de cada uno de los sistemas de puesta a tierra más usados, teniendo en cuenta sus ventajas y desventajas frente a distintos factores como lo es la continuidad, flexibilidad, costos, entre otros. Para posteriormente profundizar en los sistemas aislados, de principal preferencia en instalaciones eléctricas a bordo de buques, describiendo entonces su disposición general y consideraciones fundamentales.

1. COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

Este capítulo describe el fenómeno de la compatibilidad electromagnética (EMC), tomando en cuenta los elementos de interacción que lo componen. El estudio de EMC se enfoca desde el punto de vista de las interferencias electromagnéticas (EMI) y las fuentes de origen de estas perturbaciones, incluyendo también el medio de acople de las mismas. Por último, esta sección enfatiza el concepto de mitigación, en donde se exponen las claves a tener en cuenta en el momento de diseño e instalación para la consecución de un ambiente electromagnético en una instalación eléctrica.

Generalidades

Las redes eléctricas, se encuentran sometidas a múltiples eventos que pueden afectar su correcto funcionamiento, deben resistir un entorno electromagnético severo, por lo que es imprescindible comprender el origen de las perturbaciones y valorar sus riesgos con el fin de mejorar la calidad del sistema y evitar las fallas de funcionamiento y hasta la destrucción de sus componentes

Las instalaciones eléctricas de embarcaciones con sistemas eléctricos y/o electrónicos necesitan operar bajo un ancho rango de condiciones ambientales; y estos dispositivos se encuentran sometidos a su vez a diversas perturbaciones electromagnéticas que en cierta medida (mayor o menor) todo dispositivo eléctrico las genera.

El control de emisiones electromagnéticas no deseadas asegura que todos los dispositivos a bordo funcionen satisfactoriamente, sin causar interferencia a otros equipos o sistemas, o sin ser afectado por otros sistemas operando en ese ambiente electromagnético.

Entonces, La Compatibilidad Electromagnética se define como la capacidad que tiene un dispositivo para soportar un ambiente electromagnético funcionando correctamente, sin aportar a éste mayor interferencia.

1.1. INTERFERENCIA ELECTROMAGNÉTICA

Una interferencia electromagnética se define como cualquier señal de tipo electromagnético, que causa perturbación al funcionamiento normal a cualquier dispositivo, equipo o sistema, ya sea este de tipo eléctrico o electrónico. La EMI se puede manifestar en la degradación del funcionamiento del equipo eléctrico o electrónico, o inclusive en la afección de vida útil del mismo.

Para mayor comprensión del fenómeno de las interferencias dividiremos el mismo en tres elementos:

- **Emisor o fuente de Propagación.** Puede tener un origen natural o artificial.
- **Mecanismo de Acoplamiento.** El medio por el cual se transmite las interferencias.
- **Receptores.** Es todo el conjunto de equipos, dispositivos o sistemas afectados por las EMI.



Figura 1.1. Componentes de la interferencia electromagnética.

1.2. FUENTES DE EMI

Se considera una fuente cualquier aparato o fenómeno físico-eléctrico que emita una perturbación electromagnética, por conducción o radiación. Entre las principales causas de las perturbaciones hay que destacar: la distribución de energía eléctrica, las descargas electrostáticas y el rayo.

Estas a su vez se clasifican de acuerdo su origen, natural o artificial.

1.2.1. Fuentes Naturales

Si bien hay una gran cantidad de fenómenos de carácter eléctrico en la naturaleza, muchos de estas carecen de gran intensidad por lo que no logran crear interferencia. Para efecto de nuestro de estudio nos enfocaremos en aquellas de mayor influencia en las instalaciones eléctricas objeto de este trabajo.

- **Descargas Electrostáticas (DES).** Con este término nos referimos a los impulsos de corriente que recorren un objeto cualquiera, cuando este objeto conectado a masa entra en contacto (directo o indirecto) con otro cuyo potencial con respecto a la masa del anterior es elevada.
Las cargas electrostáticas proceden del intercambio de electrones entre los materiales o entre el cuerpo humano y los materiales. La combinación de materiales sintéticos (plásticos, tela...) y un ambiente seco favorece este fenómeno.

- **Descargas Eléctricas Atmosféricas.** Las descargas eléctricas atmosféricas se dan por ruptura dieléctrica del aire ante los campos eléctricos producidos entre nubes y entre nubes y tierra, dado que las nubes acumulan carga eléctrica estática. La descarga consiste en un

intenso pulso de corriente, en un tiempo corto, con una forma de onda cuasi triangular de frente escarpado.

1.2.2. Fuentes Artificiales

Las fuentes artificiales o provocadas, son las que se originan como consecuencia del funcionamiento de otros dispositivos o sistemas eléctricos. Estas pueden ser divididas en intencionales y no intencionales. Las fuentes intencionales son aquellas que necesitan emitir radiaciones para cumplir sus tareas; estas incluyen AM, FM, TV, transmisores de policía, beepers y teléfonos celulares, en este grupo también están clasificados los impulsos electromagnéticos nucleares. Las fuentes no intencionales incluyen dispositivos de conmutación, motores, relés, switches, líneas de potencia, lámparas fluorescentes, soldadoras de arco, sistemas de auto ignición, televisión por cable, y muchas otras.

1.3. MEDIOS DE ACOPLAMIENTO

Este se refiere al enlace, paso o transmisión de perturbaciones electromagnéticas de la fuente al receptor.

Los mecanismos de acoplamiento son esencialmente: por conducción, cuando el medio de propagación es un conductor eléctrico que une la fuente con el receptor afectado, por ejemplo, cables de alimentación o de señal, cables de protección, pantallas, chasis metálicos, entre otros; y por radiación, cuando la propagación se efectúa a través de campos electrostáticos o electromagnéticos los cuales afectan al equipo sobre su carcasa.

En el siguiente esquema se presenta como actúan los distintos medios de acoplamientos en los elementos que conforman el fenómeno de la EMC anteriormente mencionados:



Figura 1.2. Medios de Acoplamiento.

1.4. MITIGACIÓN AL PROBLEMA DE EMC

La compatibilidad electromagnética es un elemento de vital importancia en toda instalación eléctrica, cuya relevancia no debe aparecer al momento en el cual los problemas causados por la falta de consideración en su diseño surgen, sino más bien desde el propio diseño de la instalación, donde la solución seguramente será más sencilla, barata y eficaz.

Por otro lado, factores como el uso de la electrónica moderna tiene un mayor potencial para crear y sufrir interferencias, y su elección en la tecnología de hoy tiene ese impacto, lo que coloca a estos equipos a un nivel de cuidado más elevado teniendo en cuenta la sensibilidad y el nivel de emisión de estos equipos.

Estos efectos indeseables como pérdida de información, o destrucción de algún dispositivo obligan a la inclusión de análisis detallados de este fenómeno. Este estudio debe partir de la división del problema de EMI (emisor, acoplamiento y receptor); de ahí que se analice los caminos más vulnerables a perturbaciones y hallar la protección más adecuada para cada uno de los casos.

Pasos De Diseño	Área De Trabajo
1. Reducción de las emisiones en la fuente	Emisor
2. Disminución de los acoples	Mecanismo de acoplamiento
3. Incremento de la inmunidad	Receptor

Tabla 1.1. Pautas de diseño en la mitigación de EMI.

Es recomendable disminuir el efecto de la fuente en lugar de tratar de proteger el equipo afectado siempre que sea posible. De otro modo el paso a seguir es bloquear la transmisión de las interferencias por los medios radiados o conducidos.

La mitigación de EMC puede abordarse en el diseño de sistemas y productos de varias maneras, entre los métodos conocidos para la protección se encuentran: apantallamiento, filtrado, aislamiento galvánico, separación y orientación de la instalación, control de impedancias, un sistema de puesta a tierra bien implementado, una correcta selección de los componentes y el diseño estructural también juegan un papel importante.

Aunque cabe destacar que no existe una solución absoluta ante este fenómeno, si vale la pena conocer de antemano el estado en que se encuentra una instalación eléctrica y esto se logra realizando las pruebas que bien señalan los estándares internacionales como el IEC60533¹.

Aquí se incluye una visión general a algunas de las diversas técnicas de mitigación que están disponibles y que son objeto de estudio del presente trabajo: aterrizamiento, apantallamiento y protección contra sobretensiones.

¹ INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Electrical and electronic installations in ships- Electromagnetic compatibility. Segunda edición. IEC, 1999. (IEC 60533).

1.4.1. Aterrizamiento

“*Bonding*”² es la práctica de conectar eléctricamente 2 o mas conductores, de manera que estos se encuentren a un mismo potencial.

Algunas veces la frase “RF bonding” es usada para enfatizar que la técnica es utilizada para equipotenciar tensiones que fluctúan a radiofrecuencias, las cuales son más complicadas de llevar a un mismo nivel de tensión que a bajas frecuencias como 60Hz.

Cuando 2 conductores están a distintos niveles de tensión se crea un campo eléctrico entre ellos. Si se produce una fluctuación en la diferencia de tensión entonces habría una corriente asociada a cada uno de los conductores la cual crearía un campo magnético. Ahora bien, la presencia de campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo, da lugar a la creación de ondas electromagnéticas, que posiblemente causan problemas de emisión.

Ese tipo de estructuras es lo que se conoce como “*Antenas Involuntarias*” ó “*Efecto de Antena*”. En la presencia de un campo electromagnético, habrá corrientes y tensiones inducidas, que posiblemente causen problemas de inmunidad al circuito relacionado. Entonces el “bonding” es una forma de reducir la eficiencia de las antenas involuntarias.

El “bonding” es usado en áreas o volúmenes apantallados con el fin de que las corrientes internas y externas fluyan sin ningún impedimento por sus partes metálicas, y que el apantallamiento actúe como un buen escudo y no como un conjunto de antenas involuntarias.

Para lo anterior, los conductores son llevados a físico contacto de manera que hagan un contacto metal a metal, o hagan su conexión a través de un conductor

² Se puede traducir como unión equipotencial

de unión intermediario, el cual podría ser un pedazo de cable, una platina metálica o un empaque conductor.

Claves Al Usar Esta Técnica:

“No se debe confundir el aterrizamiento con uniones seguras”

Cuando se habla en un contexto de compatibilidad electromagnética, ‘bonding’ puede usarse en cualquier voltaje con respecto a la ‘tierra’ o 0V. No debe confundirse con aterrizamiento (‘earthing’) que es un término de seguridad en ingeniería. Cuando se trata de la energía RF, o la EMC, no es relevante el aterrizamiento a la masa de tierra o la protección del conductor. Todas esas conexiones son simples conductores como cualquier otro conductor en lo que concierne a RF.

Uniones Múltiples. Una simple unión entre 2 conductores obliga a que la corriente, que estaría a un mismo potencial, siga un recorrido específico a través de una pequeña área de contacto, en RF seguramente esto tendrá una alta inductancia. Por lo que en RF se necesita de múltiples uniones para evitar la presencia de inductancias parasitas.

Para no tener efectos nocivos, el espaciamiento de las uniones no debe ser menor que una décima parte de la longitud de onda de la frecuencia más alta que se tenga en el sistema. En los rangos de UHF, o cuando se necesite de un buen desempeño de las uniones, se utilizan de uniones continuas.

La unión directa entre metal-metal es la mejor técnica, y la mejor forma de lograrlo es a través de soldaduras continuas.

“*conductive gaskets*”³, son usados cuando hay acceso ocasionalmente a la junta; tal es el caso del acceso a un panel o una puerta, de tal manera que hay un ahorro de tiempo al evitar desenergizar cables y platinas.

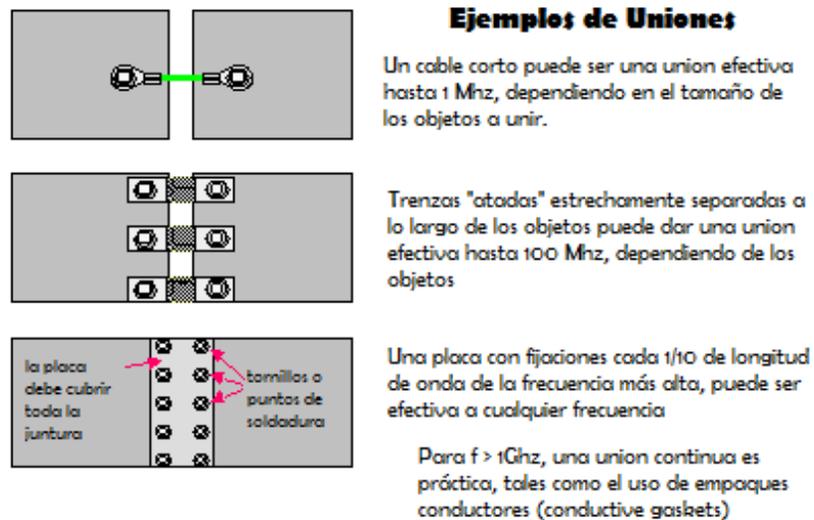


Figura 1.3. Métodos de uniones y ejemplos.

Fuente: Radiocommunications Agency EMC Awareness (<http://www.emcuk.com.uk/>).

Cuando se unen metales que no son similares entre sí, o cuando el material de unión no es el mismo que el metal que está siendo unido, aparece problemas de corrosión galvánica en la unión de los conductores, especialmente cuando hay presencia de humedad en el ambiente. Esta misma corrosión puede ser la causa de intermodulación.

Por esto hay que procurar que el punto de conexión a tierra sea un contacto limpio con la superficie del metal. Libre de pinturas u otra protección no metálica. Una vez sea realizada la conexión debe aplicarse una capa de protección, ya sea

³ **Conductive gaskets** se refiere a empaque metálico flexible para reducir la emisión RF en apantallamientos EM.

pintura o alguna clase de grasa, con el fin de prevenir corrosión de la superficie desprotegida fuera del área de contacto, y que se encuentra expuesta a las condiciones ambientales del medio propio de la instalación.

Existen otro tipo de consideraciones al realizar las uniones, tales como la separación de equipos sensibles a interferencias con otros que son equipos que inciden en la perturbación del sistema. Un motor con una falla de corriente potencialmente elevada no debe ser unido al mismo conductor de tierra relacionado a equipos electrónicos sensibles.

Hay que procurar desde las primeras etapas de diseño que los dispositivos y sus uniones, así como su camino a la tierra sean lo más corto posible, con lo que se baja la impedancia del camino, así como limita efectos inductivos en la instalación.

1.4.2. Apantallamiento.

- **Apantallamiento en Cables.**

Los cables apantallados son usados para reducir el acople de las señales que transporta un determinado conductor con su exterior. Hay que reconocer que el apantallamiento tendrá un comportamiento distinto que depende del nivel de frecuencia que se maneje. Al igual que el apantallamiento tendrá diferentes consideraciones en presencia de un acople debido a campos magnéticos, que otro causado por un campo eléctrico.

Para bajas frecuencias, una sola pantalla general para todo el sistema, la cual es aterrizada en un solo punto final, provee de un buen apantallamiento ante las interferencia por acople capacitivo pero no hace nada contra las interferencia producidas por los campos magnéticos, ya que estas se evitarían solo si la corriente fluye en la pantalla. Para apantallar los campos magnéticos, se tiene que aterrizar los 2 puntos finales de la pantalla. Esto permite que una corriente

inducida (IS) fluya en la pantalla, la cual se opondrá a la corriente inducida en el conductor central.

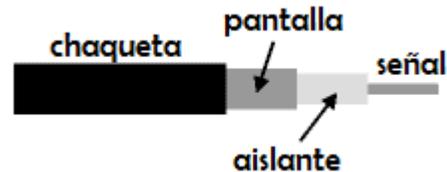


Figura 1.4. Estructura General de un Cable Apantallado.

Al momento de usar esta técnica se debe tener en cuenta:

- ❖ **Aterrizar ambos finales de la pantalla.** Una razón frecuente para solo aterrizar la pantalla en un punto es que si existe una diferencia de potencial significativa entre los dos puntos de conexión, la corriente fluiría si ambos finales se encuentran conectados. Esto sería suficiente para dañar el cable. Estas tensiones no son inusuales en sitios grandes o entre edificios. La solución ideal es la de instalar el cable en la malla a tierra usando conductores paralelos (Parallel Earth Conductors), y esta consideración debe ser estar presente para la realización de nuevas instalaciones de telecomunicaciones.
- ❖ **Calidad de la Pantalla.** A altas frecuencias el interior y exterior de la pantalla están aislados por el efecto piel, el cual previene que la corriente de la superficie llegue al interior del conductor. De ahí que las señales de corriente de la pantalla no se acoplen con las corrientes de interferencia del exterior, y el aterrizamiento múltiple no introduzca tensiones por la misma razón que ocurre en baja frecuencia.
- ❖ **La conexión a tierra de la pantalla.** La mejor conexión es una donde la pantalla se extienda y haga una conexión sólida de 360° con el plano o la carcasa de tierra. Para esto se utilizan terminaciones en los cables con alta

resistencia mecánica, usando una capa conductora y extremos sujetos sobre el cable apantallado. Un ejemplo se encuentra en la siguiente figura:

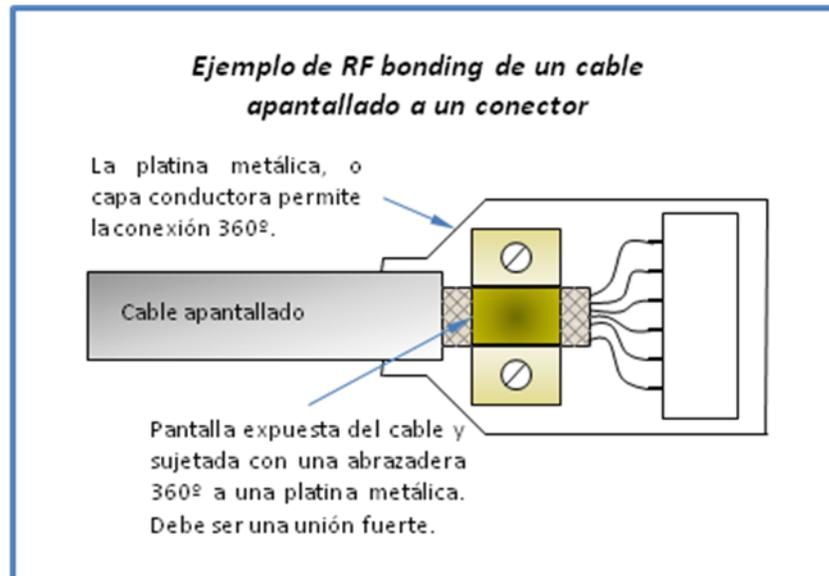


Figura 1.5. Ejemplo de conexión a tierra a la pantalla.

Fuente: Radiocommunications Agency EMC Awareness (<http://www.emcuk.com.uk/>).



Figura 1.6. Conectores Apantallados.

Fuente: Cable Glands Series Uni Dicht EMC. [w.w.w.pflitsch.de](http://www.pflitsch.de)

Impedancia de transferencia superficial. El rendimiento del apantallamiento en los cables se expresa mejor en términos de la Impedancia de transferencia superficial (Surface Transfer Impedance – STI). Esta es una medida del voltaje inducido por unidad de longitud en los conductores internos del cable debido a las corrientes de interferencias que fluyen por el cable hacia la salida de la pantalla.

Puede ser referida solo al cable, o puede asociarse a este análisis también su conductor. Una pantalla perfecta, idealmente no permitiría la inducción de cualquier tensión en el interior de los conductores.

Los cables que se comportan como antenas involuntarias usualmente son la mayor contribución al problema de emisión e inmunidad a frecuencias por debajo de las 200MHz. El apantallamiento de cables es usado para reducir las emisiones no deseadas de las señales conducidas en un cable, y a la vez proveer de inmunidad a dichas señales dentro del conductor ante el ruido en el ambiente.

Para esto se aplica una capa conductora en la circunferencia del cable, a la vez que por toda su longitud. Para cables flexibles la capa es usualmente una trenza metálica o placas de plástico metalizado envueltas en espiral, o ambos, y algunas veces múltiples capas de trenzas y/o placas.

Algunas veces se usa cintas metálicas de alta permeabilidad, con una o mas trenzas, para darle un alto rendimiento al apantallamiento en el cable, pero con la contraparte que encarece la instalación. Este tipo de cables se les conoce como “superapantallados”.

Al momento de usar esta técnica hay que tener en cuenta:

- ❖ **Cualquier hueco o agujero compromete la efectividad de la pantalla.** El cable apantallado necesita ser unido a la estructura metálica, en su principio y final, de otra manera habrá un hueco en el apantallamiento por lo que se verá afectada la inmunidad del sistema.
- ❖ Cuando se disponga de un equipo que sea pequeño, bastará con unir el cable de RF a su plano de referencia, en lugar de necesitar una estructura apantallada.

- ❖ Para permitir el uso efectivo del apantallamiento en un cable, los conectores usados deben cargar y/o unirse a las pantallas que circundan a los cables, sin crear agujeros en la pantalla general. Esto se conoce como bonding de 360°.

Cuestiones de Seguridad

Los cables largos que solo tienen su pantalla unida a tierra en un solo punto, o usan una unión capacitiva en un solo lugar, tal vez necesiten de un DPS (dispositivo de protección contra sobretensión) en el punto que carece de la unión. Esto tiene como objetivo proteger la red en momentos que se presenten sobretensiones que pueden ocurrir durante una tormenta eléctrica, o fallas en la red.

- **Apantallamiento en Estructuras.**

El apantallamiento y el filtrado son técnicas que se complementan. Al aplicar el filtrado se debe tener en cuenta el guardar cierta distancia contra los acoples conducidos en el caso que no exista un camino de retorno para la corriente que está siendo filtrada. La pantalla brinda este retorno, y también protege contra acoples en el interior del circuito del dispositivo.

El apantallamiento en una estructura no hace más que reducir las emisiones y a la vez aumenta la inmunidad en su sitio de aplicación. Para esto, se sitúa una barrera en los puntos críticos del circuito, sin ser necesario en todo el dispositivo. De esta manera se atenúa el acoplamiento por una combinación de reflexión y absorción.

Cuando se necesita una protección para bajas frecuencias se precisa de un encierre metálico para la estructura, sin embargo para cuando se requiera una protección solo de altas frecuencia (>30 Mhz), bastará con una capa conductora delgada.

La impedancia de la onda electromagnética en el espacio libre es de 377Ω . Los campos eléctrico puros tienen una impedancia mucho más grande, mientras que en los campos magnéticos es mucho menor. Un cambio en la impedancia de la onda causa que los campos eléctricos y magnéticos se reflejen. Esto en teoría se logra con una barrera metálica de longitud infinita, lo cual haría que la impedancia de la onda sea muy pequeña, creando de esta manera un escudo frente a los campos eléctricos.

Hay una parte de estas ondas que no se refleja, y atraviesa la capa conductora en forma de corriente inducida, la cual disminuye su intensidad a medida que penetra la capa; lo que queda de esta llega al otro extremo de la pared y se refleja, lo que finalmente crea un campo electromagnético ya debilitado. La efectividad del apantallamiento está dada entonces por las pérdidas por reflexión y absorción debido a la capa conductora.

Entre más gruesa sea la capa, mayor será la atenuación de la corriente en su intento de atravesar la pared. Esto también dependerá del “*Skin Depth*” del conductor. Esta es una propiedad electromagnética que intenta limitar el recorrido de la corriente AC solo por la superficie del conductor. Cada skin depth (SD) tiene una atenuación de 8.6 dB. Una buena absorción debe tener al menos 6 SD, lo que equivale a unos 50 dB aproximadamente. El SD en un metal depende de la longitud de onda de las señales que a apantallar, y el tipo de metal usado.

1.4.3. Protección contra sobretensiones (arcs and sparks).

Los arcos y chispas son descargas eléctricas que se producen en gran cantidad de contactos electromecánicos tales como interruptores, relés, contactores y los conmutadores de los motores eléctricos. Estos generan ruido eléctrico aleatorio sobre todo el espectro de radio frecuencia desde 0Hz hasta 400Ghz.

Todos los canales de frecuencia a un lado de las transmisiones de TV y radiocomunicaciones pueden ser afectadas por las emisiones de los arcos y las chispas.

Estas emisiones pueden ser tratadas por medio del apantallamiento y el filtrado, pero estas son técnicas demasiado costosas para este caso particular. Si la energía de radiofrecuencia en los arcos y chispas se reduce, el costo del apantallamiento y de los filtros se reduce considerablemente y en el mejor de los casos puede ser eliminado completamente.

Las técnicas de supresión de arcos y chispas son usadas para reducir la energía RF generada en los procesos de maniobras de los dispositivos electromecánicos mencionados. A la vez, que esta técnica permite el beneficio de un aumento en la vida útil del dispositivo protegido.

El arco y las chispas en los contactos electromecánicos se generan cuando estos tratan de interrumpir el circuito de manera abrupta. La tensión que aparece, debido a la inductancia propia del circuito, es tan alta que quiebra la rigidez dieléctrica del aire entre los contactos, y aparece en consecuencia una descarga eléctrica, en forma de chispa o arco.

Las técnicas de mitigación de este fenómeno hacen uso de dispositivos electrónicos, con la función de reducir la tasa de cambio de la corriente y de esta manera la tensión que produce la descarga eléctrica. Dentro de los elementos usados encontramos capacitores, resistores, redes de capacitores, rectificadores, diodos zeners o varistores que se conectan a los contactos electromecánicos, de tal manera que sean un camino alternativo a la corriente aliviando el esfuerzo sobre los contactos. La disminución de la corriente causa una menor tensión de ruptura, de ahí que el enfoque de esta técnica vaya a la selección de elementos y circuitos que lleven la tensión de ruptura donde no se genere descargas eléctricas en forma de arcos o chispas.

Es preciso localizar las cargas inductivas dentro de la instalación y ejercer control sobre las mismas, ya que estas usualmente son la causa de la tensión de ruptura.

Por lo general es mejor para la EMC que se aplique esta técnica a las cargas inductivas en la carga en sí, de este modo el camino de la corriente por los componentes de alta frecuencia de la forma de onda “flyback” cubra el menor espacio posible y así este radie una menor cantidad de interferencia.

2. SOBRETENSIONES Y APANTALLAMIENTO

La calidad de energía eléctrica se ve afectada por las tensiones y corrientes transitorias, y estas a su vez tienen efectos nocivos en los equipos eléctricos o electrónicos que se sirven de ella, las tensiones transitorias más conocidas son las originadas por las descargas atmosféricas (rayos), sin embargo hay que entender que existen muchos orígenes de tensiones transitorias, tanto desde el interior de una instalación o sistema eléctrico como desde el exterior, en esta sección se definirán precisamente, todas aquellas sobretensiones que de alguna manera pueden alterar el correcto funcionamiento de los equipos y por ende, la continuidad en su servicio; de igual manera se detallaran las protecciones que será necesario implementar para evitar este tipo de inconveniente.

Generalidades

Las sobretensiones se pueden definir como una interferencia de tipo electromagnética, caracterizada por ser un impulso de tensión en muy poco tiempo, que se superpone a la señal generando el aumento de la tensión del sistema, por lo que se pueden llegar a presentar fallas e incluso daños en los equipos que se ven afectados por esta subida de tensión, ocasionando la salida de operación de los mismos del sistema.

La salida de operación de los equipos que sufren fallas o daños interrumpen la continuidad del servicio prestado tanto en cargas utilizadas por la tripulación del buque o de la embarcación como en el funcionamiento de los equipos de comunicación y navegación que garantizan la seguridad de la nave; las sobretensiones presentan una duración característica que puede variar de ns a seg, y este tiempo se refleja en sus dos partes fundamentales el tiempo de frente y el tiempo de cola.

Las sobretensiones pueden ser generadas por diversas fuentes de perturbación y según su origen se clasifican en:

2.1 SOBRETENSIONES DE ORIGEN INTERNO

Son originadas por maniobras comúnmente realizadas cuando la embarcación está en operación (encendido y apagado de carga), y por elementos propios de la instalación, las cuales generan perturbaciones que pueden llegar a penetrar en el equipo sensible de la nave; además, se pueden presentar acoples inductivos y capacitivos, entre los conductores de control, potencia y comunicaciones, de no encontrarse estos a la distancia de seguridad requerida para garantizar la ausencia de los mismos.

Los daños ocasionados por este tipo de sobretensión toman gran importancia debido a que los dispositivos electrónicos usados actualmente en los sistemas son cada vez más vulnerables y sensibles considerándose esta interferencia una gran amenaza para las instalaciones, dado que puede llegar a poner en riesgo la confiabilidad y disponibilidad de los sistemas electrónicos, y el desempeño operacional de la embarcación.

2.1.1 PROTECCIONES PARA CONTROL DE SOBRETENSIONES INTERNAS

El control de las sobretensiones de origen interno se puede realizar por diversos mecanismos, dependiendo del nivel de seguridad que se requiera en la instalación

2.1.1.1 Mecanismos de protección

- Interconexión Equipotencial: Es utilizado cuando por los sistemas de puesta a tierra circulan corrientes con componentes de muy alta frecuencia, generando grandes diferencias de potencial debido al comportamiento inductivo que padecen los conductores, cuando se exponen a estas frecuencias. Un adecuado sistema de interconexión (puesta a tierra) reduce estas diferencias a valores soportables por los dispositivos de protección contra sobretensiones (DPS), instalados.
- Blindajes⁴: Medida básica para la reducción de la interferencia electromagnética y es lograda aplicando un apantallamiento externo a los cableados.

2.1.1.2 Dispositivos de Protección

- Varistores: Son clasificados dentro de los descargadores de sobretensiones, son instalados en derivación con el equipo o la línea a proteger; generalmente están compuestos de una pieza de cerámica de material semiconductor de óxido de zinc.

Tienen dos estados, básicos: el estado normal o estacionario, que se presenta cuando el dispositivo es sometido a una tensión por debajo de su tensión límite, durante este estado el dispositivo presenta entre sus terminales un alto valor de impedancia y a través de él circula una corriente muy baja (μA). El otro estado denominado dinámico, se caracteriza por presentar una baja impedancia manteniendo entre sus terminales una

⁴ Nos referimos en este documento al apantallamiento de cables explicado en el capítulo anterior

tensión relativamente constante, la cual determina el nivel de protección del dispositivo.

- Diodos Supresores: También presentan los mismos dos estados de transición estacionario y dinámico, y se caracterizan por presentar un corto tiempo de transición, son de silicio y su principal aplicación es proteger circuitos electrónicos, por su óptimo nivel de protección.

2.2 SOBRETENSIONES DE ORIGEN EXTERNO

Este tipo de sobretensiones son causadas por medios que no pertenecen al sistema eléctrico del buque ocasionando gran número de fallas en la embarcación, cuando se producen; son originadas generalmente por descargas eléctricas atmosféricas, las cuales se presentan como un rayo que puede impactar la estructura o las zonas cercanas de la embarcación generando sobretensiones en el sistema eléctrico del buque, que a su vez puede llegar a reflejarse en los equipos electrónicos y de comunicaciones.

1. RIESGOS IMPACTO DIRECTO A LA EMBARCACION

Impacto directo a personas

*Impacto directo al equipo
generando fallas y daños*

*Impacto directo a la
estructura de la embarcación
generando circulación de
corriente e inducción de
sobretensiones a las
instalaciones eléctricas.*

2. RIESGOS IMPACTO EN ZONAS CERCANAS

Impacto en zonas cercanas a la embarcación, generando la inducción de tensión y circulación de corriente que se puede presentar por la creación de campos electromagnéticos por la caída del rayo.

2.2.1 PROTECCIONES PARA CONTROL DE SOBRETENSIONES EXTERNAS

Teniendo en cuenta que el objeto fundamental y primordial es garantizar la seguridad de las personas a bordo de la embarcación y por supuesto minimizar en gran medida los riesgos de origen eléctrico y daños de equipos en la instalación que se puedan generar por las sobretensiones; es necesario realizar una evaluación para la protección externa del mismo, cuyos criterios se encuentran establecidos en las normas NTC 4552⁵ e IEC 61024⁶

Para tomar la decisión de si una estructura necesita o no protección contra descargas atmosféricas es necesario evaluar su nivel de riesgo en cuanto a descargas eléctricas atmosféricas se refiere y además determinar si es necesario o no según las normas mencionadas anteriormente colocar pararrayos en la estructura de la embarcación, con el fin de protegerla y así mismo las instalaciones, equipos y personas que se encuentren a bordo.

Para analizar el riesgo de la embarcación es necesario tener en cuenta:

⁵ NTC 4552, Norma técnica Colombiana, Protección contra descargas eléctricas atmosféricas,

⁶ IEC 61024-1, International Standard. Protection of structures against lightning: Part 1: General principles.

- Índice de Riesgo Real de la estructura (Nr)
- Índice de Riesgo máximo permitido (Np)

El primero es el que se determina mediante un procedimiento que toma en cuenta ciertas variables⁷.

El segundo, corresponde al número o nivel de riesgo máximo permitido, el cual se evalúa teniendo en cuenta diferentes parámetros de la estructura⁸ entre los cuales tenemos:

- *Tipo de construcción*
- *Presencia de sustancias inflamables*
- *Número de personas involucradas en caso de daños*
- *Tipo e importancia de los servicios públicos*
- *Medida para reducir efectos por rayos*
- *Valor de los bienes que pueden sufrir daños.*

Al estudiar cada una de las variables anteriormente mencionadas, el valor de Np, puede variar entre 10^{-1} y 10^{-4} siendo este último el valor que ofrece mayor protección.

Una vez determinado los dos índices de riesgo, debe llevarse a cabo la siguiente comparación a fin de definir la necesidad o no de un sistema de protección contra rayos.

- Si $Nr < Np$, entonces no se necesita ningún sistema de protección particular

⁷ Procedimiento especificado en la norma NTC 4552

⁸ Parámetros especificados por la norma IEC 61024

- Si $N_r > N_p$, entonces se necesita un sistema de protección cuyas características vienen definidas por un valor de eficiencia que se determina según la siguiente relación:

$$\text{Eficiencia de la instalación de Protección } (E) = 1 - (N_p/N_r)$$

Según el valor de E se selecciona un nivel de protección utilizando la siguiente tabla:

Nivel de Protección (Np)	Valor de (E)
I	0.98
II	0.95
III	0.90
IV	0.80

Tabla 2.1. Nivel de protección según la eficiencia de la instalación

Fuente: Tabla NORMA IEC 61024

Si el valor de E es superior a 0.98 se elegirá el NP I y algunas medidas de protección adicionales que tienen que ver no solo con el sistema de protección principal, sino con la seguridad de protección a personas.

Partiendo del hecho que las embarcaciones objeto de estudio se encuentra en un nivel de protección I, es necesario implementar tanto protección externa, como protección interna, debido al fuerte peligro para las personas y para la nave.

2.2.1.1 Protección externa mediante interceptación de rayos (Apantallamiento)

Un sistema de protección está compuesto por tres elementos fundamentales que forman una cadena en la que ningún eslabón funciona correctamente sin el otro. Estos son: El sistema de captación (Terminales aéreos), el sistema de conducción (Bajantes) y el sistema de drenaje (Puesta a tierra).

Este esquema fue propuesto a nivel conceptual por Benjamín Franklin hace más de 250 años, y se basa en la ubicación de elementos conductores (puntas), por encima de todos los objetos existentes en la parte superior de la estructura a proteger, cuya función es interceptar los rayos que puedan impactar en cercanías o directamente sobre la instalación a proteger. Su ubicación se realiza de acuerdo al método electrogeométrico.

METODO ELECTROGEOMETRICO

Según la norma NTC 4552 la teoría electrogeométrica es un sistema analítico desarrollado por Gilman y Whitehead referido a un modelo para determinar la efectividad de los apantallamientos. En él, se pretende que los objetos por ser protegidos sean menos atractivos a los rayos que los elementos apantalladores; esto se logra determinando el "Radio de atracción" del rayo a un objeto, cuyo significado, es "la longitud del último paso de la guía de un rayo, bajo la influencia de un terminal que lo atrae, o de la tierra"

La distancia de descarga determina la posición de la estructura apantalladora con respecto al objeto que se quiere proteger, tomando en cuenta la altura de cada uno con respecto a la tierra. Dicha distancia está relacionada con la carga del canal de la guía del rayo y por lo tanto es una función de la corriente de retorno del mismo

Cualquier elemento de la estructura que se encuentre expuesto al impacto del rayo, como antenas de TV, chimeneas, torres de comunicación y cualquier antena y tubería que sobresalga debe ser tratado como una punta de captación.

Este método se fundamenta en el concepto de distancia de atracción de la descarga por una estructura (r_s) según la cual el rayo saltará al primer conductor dentro de una distancia r_s o a tierra si está dentro de $\beta \cdot r_s$, donde β es un factor que representa los efectos de atracción del plano de tierra como se muestra a continuación:

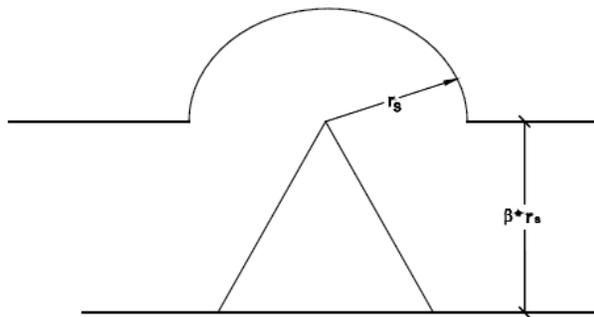


Figura 2.1. Distancia de atracción del Rayo

Fuente: Norma NTC 4552, Fig. 14.

La distancia de atracción determina la posición de la estructura interceptora con respecto a la estructura protegida o permite establecer cuál es el área de cubrimiento de una estructura para una corriente dada. La distancia de atracción es una función de la corriente de retorno del rayo dada por:

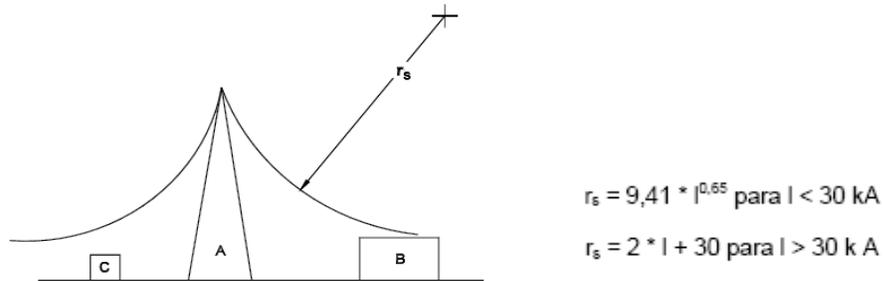


Figura 2.2. Zona de protección de una estructura de acuerdo a la distancia de atracción

Fuente: Norma NTC 4552, Fig. 15.

Esta distancia R es fijada por la normativa, según la eficiencia del sistema tal como se muestra a continuación:

Nivel de Protección (Np)	Distancia (R) de atracción
I	20
II	30
III	45
IV	60

Tabla 2.2. Distancia de atracción según el nivel de protección de la instalación

Fuente: Tabla NORMA IEC 61024

Por ejemplo, según la relación entre el radio de atracción (R) y la corriente (I) expuesta anteriormente, la R para el nivel de protección III corresponde a una corriente (I) de 10 kA. Esto implica por tanto, que para garantizar un sistema más eficiente, se trabaja con menores magnitudes de corriente, lo significa menores radios de atracción.

Implementar este método es bastante sencillo y es precisamente hacer rodar una esfera cuyo radio está determinado por el valor de la tabla anteriormente

expuesta, alrededor de la estructura a proteger y con ella definir las zonas de protección y las ubicaciones de los elementos captadores.

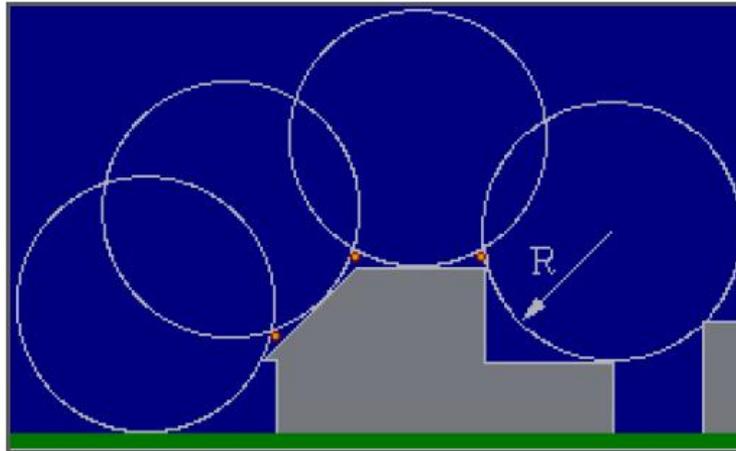


Figura 2.3. Método de la esfera rodante para definir zona de protección y ubicación de captadores

Para un terminal dado o elemento captador, su área de protección sería como se indica a continuación:

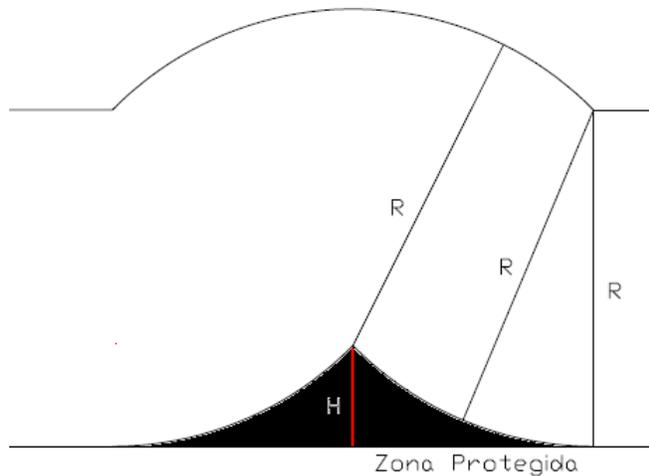


Figura 2.4. Ubicación del terminal captador y definición de zona de protección

Sistema de Captación: Se debe tener en cuenta, que el número de dispositivos de interceptación o captación instalados, depende del grado de protección que se le quiera ofrecer al sistema, y deben ser varillas metálicas solidas en forma de bayonetas, o puntas Franklin como las mostradas a continuación, de un diámetro mínimo de 16mm:



Figura 2.5. Ejemplos de Terminales captadoras (Pararrayos)

Fuente: NORMA IEC 61024

La altura debe ser no menor a 0.25m para intervalos máximos de 6m entre puntas y no menor a 0.6m para intervalos máximos de 8m y como se menciono anteriormente cualquier elemento metálico que se encuentre expuesto al impacto del rayo debe ser tratado como una punta de captación.

Todos los elementos de la instalación de interceptación de rayos, deben estar unidos mediante un anillo conductor en la cima de la estructura, con un calibre igual al de las bajantes.

Sistema de Conducción (Bajantes): El objeto de los bajantes es derivar la corriente del rayo que incide sobre la estructura e impacta en las puntas de captación, la selección adecuada tanto en ruta, como en cantidad, calibre y tipo de

material, va a garantizar que el efectivo trabajo de las terminales aéreas o elementos captosres, llegue en forma segura hasta los sistemas de drenaje en tierra.

Las tres características fundamentales en esta etapa son:

- Cantidad de bajantes: La cantidad mínima de bajantes viene definida según el nivel de protección, la relación es la distancia mínima que debe existir entre bajantes en el perímetro de la superficie a proteger.

Nivel de Protección (Np)	Distancia (m)
I	10
II	15
III	20
IV	25

Tabla 2.3. Distancia mínima entre bajantes según el nivel de protección de la instalación

Fuente: Tabla NORMA IEC 61024

- Ruta: Debe ser seleccionada adecuadamente a fin de evitar al máximo los *side flashing*⁹, no solo como chisporroteos en el propio cable, sino también en estructuras metálicas vecinas.
- Tipo de conductor: El tipo de conductor también es importante y especialmente en lo que se refiere a inductancia propia como parámetro determinante. Existen tres básicos de conductores comerciales:

⁹ Descargas Laterales

- i. Cilíndricos convencionales (desnudos o aislados): Tienen inductancias por el orden de $1\mu\text{H/m}$.
- ii. Conductores planos: Tienen inductancias del orden de centenas de nH/m .
- iii. Conductores tubulares tipo guía de onda que garantizan inductancias por el orden de decenas de nH/m .

La selección del tipo de conductor se realizará según las especificaciones y pautas expuestas en la IEEE Std 045-2002¹⁰, por considerarse especial al tipo de instalación eléctrica que se encuentra instalada en una embarcación.

Sistema de Puesta a Tierra (Drenaje de las corrientes provenientes del rayo):
Este tema tiene gran importancia y relevancia por lo que no puede ser explicado en forma resumida, en el próximo capítulo será ampliado y detallado. Su idea es garantizar la menor impedancia a tierra, para lograr drenar de forma rápida y segura las corrientes de rayo provenientes de los bajantes.

¹⁰ Recommended Practice for Electrical Installations on Shipboard

3. SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

En esta sección se describirán las funciones de un sistema de puesta a tierra, y la importancia del mismo dentro de una instalación eléctrica como elemento primordial para la seguridad de las personas en contacto con la instalación. Además, se describirá los distintos SPT que existen, para finalmente enfocarnos en los sistemas no aterrizados, los cuales son los más recurrentes en las instalaciones eléctricas en navíos.

Generalidades

Los Sistemas de Puesta a Tierra (SPT) son componentes de gran relevancia dentro de todo sistema eléctrico, ya que además de permitir la conducción hacia la masa de tierra de cargas eléctricas de tipo natural como los rayos, o de otro origen como fenómenos electrostáticos y/o fallas en el sistema, deben poseer la capacidad de disipar y dispersar las fallas, evitando de igual manera la presencia de potenciales peligrosos en la superficie de la instalación.

Los objetivos de un sistema de puesta a tierra (SPT) son: La seguridad de las personas, la protección de las instalaciones y la compatibilidad electromagnética.

Los SPT tienen un concepto implícito de seguridad de las personas, debido a que estas se encuentran a su mismo potencial por el hecho de estar en contacto con la instalación. De esta manera, si todos los aparatos de la instalación se encuentran al mismo potencial, o al menos a una diferencia demasiado mínima que evite la propagación de una descarga eléctrica entre los elementos de la instalación y las personas en la misma, no habrá ningún riesgo por descarga eléctrica peligrosa.

Las funciones de un sistema de puesta a tierra son¹¹:

- Garantizar condiciones de seguridad a los seres vivos.
- Permitir a los equipos de protección despejar rápidamente las fallas.
- Servir de referencia al sistema eléctrico.
- Conducir y disipar las corrientes de falla con suficiente capacidad.
- Eliminar ruido eléctrico.
- Transmitir señales de RF en media onda.
- Realizar una conexión de baja resistencia con la tierra y con puntos de referencia de los equipos.

Con el fin de confinar los riesgos eléctricos y obtener seguridad de toda las personas dentro de una instalación, se debe asegurar que los niveles de tensiones de paso, contacto o transferidas no superen el nivel máximo de energía eléctrica que el cuerpo humano puede soportar. Estos valores asociados a un tiempo de despeje de la falla presentada se encuentran consignados en la siguiente tabla.

Tiempo de despeje de la falla Valores en milisegundos (ms)	Máxima tensión de contacto admisible (Valores en rms c.a.)
Mayor a dos segundos	50 voltios
750 ms	67 voltios
500 ms	80 voltios
400 ms	100 voltios

¹¹ Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución no.18 -1294 de agosto 06 de 2008.
Pág. 59 de 164.

300 ms	125 voltios
200 ms	200 voltios
150 ms	240 voltios
100 ms	320 voltios
40 ms	500 voltios

Tabla 3.1. Valores máximos de tensión de contacto aplicada a un ser humano

Fuente: Tabla 22, Art. 15° RETIE

3.1. TIPOS DE FALLAS ELÉCTRICAS

Antes de definir los distintos sistemas de puesta a tierra que se tienen como opción para instalar en cualquier sistema de potencia, definiremos las diferentes fallas de tipo eléctrico que pueden ocurrir en un sistema, y la frecuencia con que cada de estas puede llegar a aparecer.

Una falla puede dañar equipos e instalaciones, aumentar los costos debido al tiempo de pérdida de producción, y puede conducir a accidentes en los trabajadores, y en el peor de los casos la muerte de los mismos. Los cuatro tipos de fallas son:

- Falla de línea a tierra, la cual representa el 98% de las fallas. Esta se define como la conexión eléctrica involuntaria de un circuito eléctrico y conductores que normalmente no conducen corriente, encerramientos metálicos, equipos metálicos, o la misma tierra.
- Falla de fase a fase, que representa el 1.5% de todas las fallas.
- Falla trifásica, que constituyen menos del 0.5% de todas las fallas, y son a menudo causadas por error humano.

- Arcos eléctricos, son fallas intermitentes entre las fases, o entre fase y tierra. Estas corrientes discontinuas alternadamente atacan, se extinguen, y vuelven y atacan.

Una vez que hemos discutido las distintas fallas que pueden aparecer en un sistema eléctrico, es momento de presentar una vista general de los principales SPT que se pueden encontrar.

3.2. TIPOS DE SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA

Los sistemas de potencia eléctricos pueden ser clasificados por la naturaleza de la conexión entre el neutro del sistema de potencia y la tierra. Según este criterio los sistemas eléctricos de potencia se clasifican en:

Sistemas Aterrizados. Estos sistemas se caracterizan por tener el neutro de los transformadores o generadores conectados a tierra. Cuando se produce un cortocircuito monofásico, este es detectado de manera inmediata por las protecciones de sobrecorriente residual y por lo tanto, es despejado rápidamente. La conexión a tierra se puede realizar de distintas maneras, entre las cuales se destaca:

- Sólidamente Aterrizados (Solidly Grounded).
- Resistencias de bajo valor.
- Resistencias de alto valor (High Resistance Grounded - HRG).

Sistemas Aislados. Cuando los conductores de neutro o fase no son intencionalmente conectados a tierra (excepto a través de dispositivos de medida u otro dispositivos con muy alta impedancia), se dice que el sistema es aislado. Los sistemas aislados proveen solo una pequeña cantidad de corriente limitada cuando hay una falla a tierra en una de las fases.

Las principales ventajas y desventajas de los sistemas de aterrizamiento antes mencionados se encuentran consignadas en la tabla 3.2.

<i>Tipo De Sistema</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
<i>Sólidamente Aterrizado</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Buen control de sobrevoltajes súbitos desde el neutro a la tierra. • Permite a los usuarios la fácil localización de las fallas. • Puede proveer cargas entre línea-neutro. 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere la compra e instalación de un totalizador de gran costo. • Interrupción fuera de la agenda de procesos de producción. • Altos valores de corriente de falla. • Posibilidad de daño severo de los equipos durante una falla.
<i>HRG</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Limita la corriente de falla a tierra a bajos niveles. • Reduce los peligros por choques eléctricos. • Controla los transientes de sobretensiones. • Mantiene continuidad del servicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Altas frecuencias pueden producir disparos erróneos de las alarmas. • Las fallas a tierras por su difícil detección pueden quedarse en el sistema durante largos periodos de tiempo.
<i>Aislados</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ofrecen un bajo valor de corriente entre línea-línea en una falla a tierra (5A o menos). • Asegura la continuidad en la operación de procesos siempre y cuando solo una fase sea aterrizada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Dificultad para encontrar la falla de línea a tierra. • No controla las sobretensiones. • El costo del mantenimiento del sistema se eleva, debido a la labor involucrada en la localización de una falla.

Tabla 3.2. Ventajas y desventajas entre distintos SPT.

3.3. SISTEMAS NO ATERRIZADOS

Este tipo de sistemas provee un servicio confiable dentro de una instalación eléctrica. Si cualquiera de las fases del sistema es aterrizada momentánea o permanentemente, el sistema puede seguir operando y la corriente que fluye hacia la tierra por lo general no provoca el disparo de la protección.

Este hecho de mayor nivel de confiabilidad del sistema de potencia, se traduce como mayor continuidad del servicio eléctrico. Sin embargo, el hecho que no se presente interrupción producto de una falla, en este caso de una fase aterrizada, se debe preparar maniobras para detectar el lugar de la falla y realizar la corrección en el menor tiempo posible. Esto con el propósito de evitar una segunda falla, que en el caso eventual que ocurriese, existiría una sobrecorriente y operarían los fusibles o interruptores provocando de esta manera un corte en el servicio.

3.4. SISTEMAS NO ATERRIZADOS PERFECTOS

Un error común al hablar de este tipo de sistemas, es que un sistema no aterrizado perfecto es inofensivo. Sin embargo, un sistema no aterrizado “perfecto” como tal no existe.

En un sistema no aterrizado *ideal*, no habría un camino para que la corriente fluya si una de las fases es aterrizada. Como se muestra en la figura 3.1. Si una persona tocara un conductor energizado A mientras se encuentra en la cubierta (punto B), no habría un camino completo para que la corriente fluya desde el conductor A hacia el conductor C por medio del cuerpo de la persona en un sistema no aterrizado perfecto.

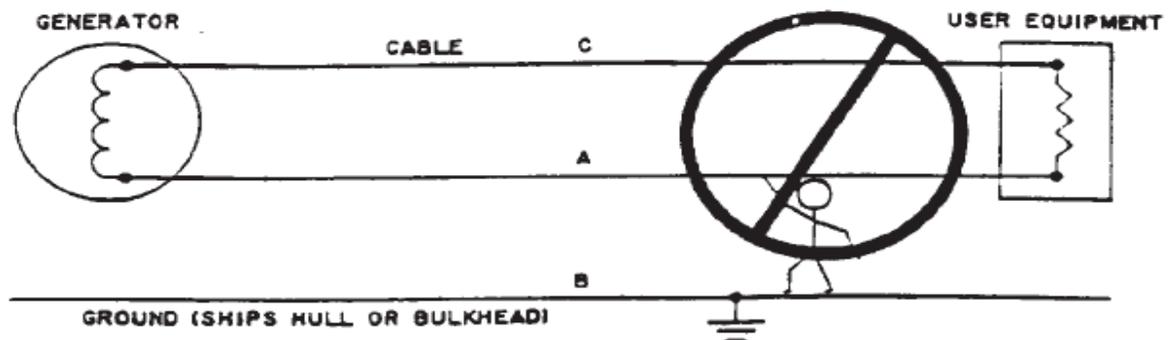


Figura 3.1. Sistema no aterrizado perfecto.

Fuente: Naval Ship's Technical Manual, Fig. 300-2-2 A, Pág. 2-5.

Los sistemas eléctricos en los buques no son ni tampoco pueden ser perfectos. Siempre habrá corrientes de fuga a través del aislamiento de los cables, tableros, breakers, y las cargas de los usuarios. Incluso si no hay filtros capacitivos de EMI, siempre existirán algunas capacitancias inherentes hacia tierra en cualquier equipo o cableado del sistema. De aquí que la persona que tenga contacto con un conductor energizado siempre estará en riesgo de una descarga eléctrica.

3.5. SISTEMAS NO ATERORIZADOS REALES EN BUQUES

La mayoría de los sistemas de potencia a bordo de los buques son aislados o no aterrizados. Esto significa que no hay conexión permanente entre el sistema de potencia y la estructura del barco.

Existen 2 motivos por los cuales los navíos usan sistemas eléctricos aislados:

- A. Un sistema no aterrizado mejora la confiabilidad del sistema eléctrico, de esta manera se asegura en una mayor cantidad la continuidad del fluido eléctrico en este tipo de instalaciones.
- B. Previene la corrosión galvánica del casco causada por el flujo de corriente a través de uniones soldadas y/o uniones de metales de distinta naturaleza.

En un sistema eléctrico aislado, típico de una embarcación, las salidas de tomacorriente de un circuito eléctrico, son conectadas de manera diferente a un mismo tomacorriente usado en nuestros hogares, cuyo sistema es aterrizado.

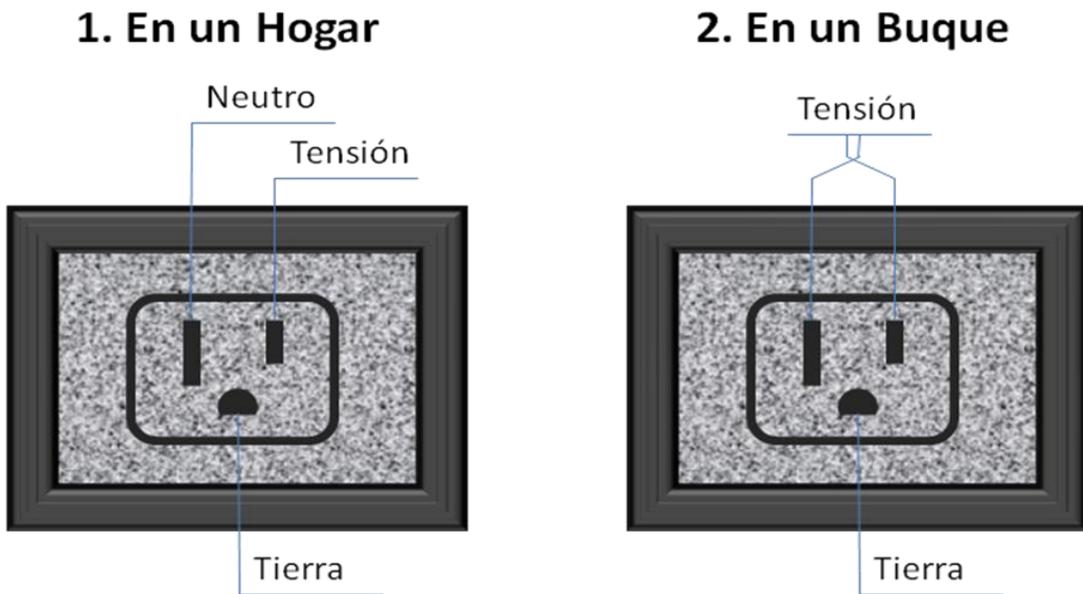


Figura 3.2. Receptores en un hogar y en un buque.

El receptor de 110V de un sistema con neutro aterrizado, tiene una línea de neutro (o común) la cual está conectada a tierra en la fuente (ilustración 1 en la figura 3.2). Por otro lado, ambos conductores en el receptor de una embarcación tienen potencial entre los demás conductores y tierra (ilustración 2 en la figura 3.2). En ambos caso, la terminal de tierra está conectada a tierra por medio de un conductor que provee un camino con baja impedancia hacia tierra, y este no lleva la corriente normal del circuito.

En cuanto a la distribución del sistema eléctrico, en un sistema aislado real, como el representado en la figura 3.3, hay resistencias y capacitancias parasitas, que son propias del sistema, como las que existen entre los conductores de las fases y la tierra, las cuales no pueden ser vistas como componentes físicos de la

instalación. Estos pequeños caminos a través de los dispositivos eléctricos y del mismo cableado, son inherentes al diseño eléctrico de los mismos.

Además de estas impedancias distribuidas por todo el sistema, muchos sistemas eléctricos en buques poseen filtros EMI. Estos filtros contienen capacitores conectados desde los conductores a la tierra.

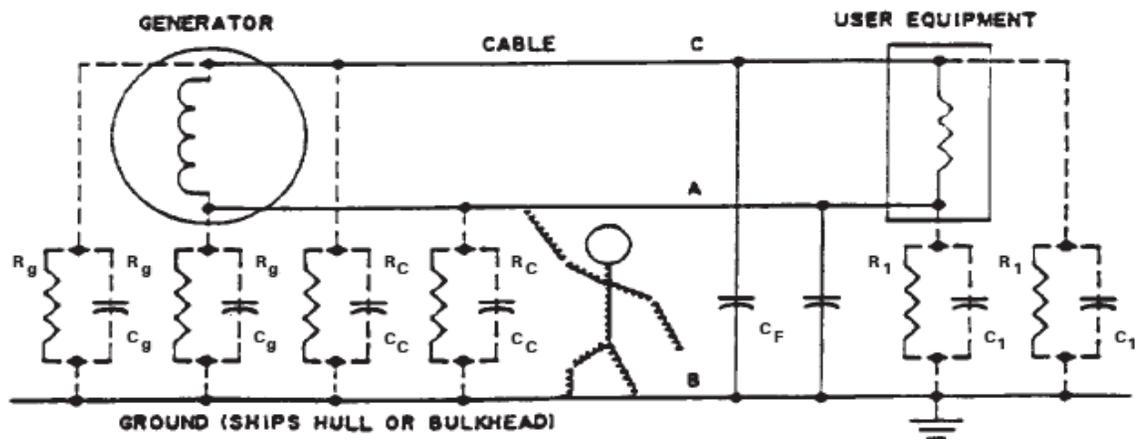


Figura 3.3. Sistema no aterrizado real.

Fuente: Naval Ship's Technical Manual, Fig. 300-2-2 B, Pág. 2-5.

Ahora bien, todos estos posibles caminos para la corriente, combinados en paralelo, pueden producir corrientes realmente significativas y peligrosas cuando hay contacto con un conductor energizado.

3.5.1. Resistencias Propias del Sistema a Tierra

Aquí se incluyen la resistencia de aislamiento del generador, cables y conductores, y de las cargas.

Como bien se menciona antes, estas resistencias no pueden ser vistas como elementos físicos de la instalación, pero son caminos representativos para el flujo de corriente entre los equipos y su aislamiento. Mientras mayor sea el valor de la

resistencia, pues obviamente será menor la intensidad de corriente entre el conductor y la tierra.

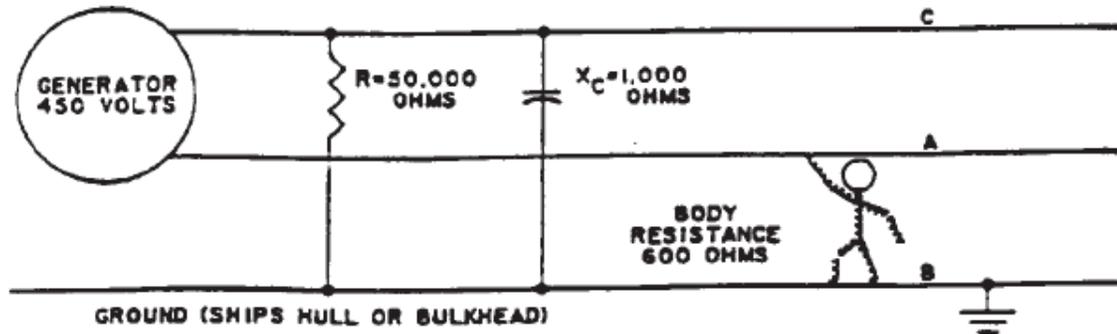


Figura 3.4. Ejemplo de un sistema aislado en un buque.

Fuente: Naval Ship's Technical Manual, Fig. 300-2-2 C, Pág. 2-5.

3.5.2. Capacitancias Propias del Sistema a Tierra

Una segunda razón por la cual es peligroso el permanecer sobre la cubierta y entrar en contacto con un conductor vivo, es la posibilidad de tener un gran valor de capacitancia del sistema hacia tierra. En todos los sistemas eléctricos de potencia existen capacitancias a tierra entre conductores vivos en cables y los equipos conectados al sistema. El valor de las capacitancias por cada metro de cable y por cada dispositivo del sistema es pequeño, pero el valor se incrementa a valores representativos por el tamaño de la instalación.

Las figuras 3.3 y 3.4, muestran las capacitancias del generador a la tierra, las capacitancias del cable de distribución a tierra, y las capacitancias de la carga de los equipos y dispositivos del sistema a tierra. Estas capacitancias parasitas no pueden ser vistas, ya que no son componentes palpables, pero se encuentran implícitas en el diseño del sistema.

En una instalación lo suficientemente grande y compleja, tendríamos metros y metros de cables y una gran cantidad de equipos que harían parte de este

sistema, por lo tanto el valor de las capacitancias sería bastante significativo, esto sin considerar la presencia de filtros EMI. Ahora, un alto valor de capacitancia significa por otro lado una menor impedancia, lo que elevaría aun más el peligro de una descarga eléctrica por contacto con un conductor activo.

3.5.3. Filtros de EMI

Además de las capacitancias invisibles del sistema, los sistemas eléctricos típicos a bordo de un buque contienen filtros de interferencia electromagnética (EMI), los cuales contienen capacitores en paralelo desde los conductores hacia la tierra.

Estos filtros son instalados con el fin de reducir la interferencia entre los equipos eléctricos y electrónicos que hace parte del sistema eléctrico de un buque. De aquí que el enfoque para prevenir y eliminar las interferencias electromagnéticas se lleve a cabo desde el mismo diseño de la instalación, atacando el problema directamente desde la fuente de las emisiones, de tal manera se evita el uso de filtros EMI, y por consiguiente no se adicionan mas capacitancias al sistema.

NOTA

Es por estas razones que un sistema de potencia aislado, y específicamente en nuestro caso de estudio, nunca debe considerarse seguro para una persona en una embarcación con casco metálico tener contacto con algún conductor desnudo mientras se encuentre energizado.

3.6. DETECTORES DE TIERRA

Las fallas que en sistemas comunes son reflejadas por disparo de los dispositivos de protección y cortes en el servicio, en el caso del sistema no aterrizado se pueden evidenciar por medio de un detector de referenciamiento a tierra, el cual mide el aislamiento, de tal manera que cuando este medidor está en cero indica la existencia de una falla existente en el sistema y se deben tomar medidas de corrección apropiadas.

En el caso eventual de una segunda falla sin ser corregida la primera, existiría una sobrecorriente y por consiguiente operarían los fusibles o interruptores de protección provocando un corte en el servicio.

Estos detectores de tierra, según su naturaleza de construcción pueden ser clasificados en activos y pasivos.

Los detectores pasivos pueden estar en cualquier forma de luces o voltímetros. Para localizar el circuito que está causando la falla, por lo general se necesita empezar desde el panel de distribución principal que contiene el indicador de tierra, que muestra en efecto la presencia de aterrizamiento de una de las fases. En este punto selectivamente se abre y cierran los dispositivos de protección en el panel de distribución, y el circuito que causa el desbalance en el sistema puede ser identificado, ya que el indicador de la falla de tierra se apagara al momento de abrirse el circuito involucrado. En algunos casos, circuitos de este tablero principal alimentan otro sub-paneles, para los cuales se repite el procedimiento antes mencionado con el fin de aislar la falla hasta el lugar de origen.

Por otro lado, los detectores activos consisten en medidas o la aplicación de voltaje dc entre el sistema de potencia en operación y la tierra, midiendo el flujo de corriente, con el objetivo de determinar la resistencia a tierra del sistema.

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se cuenta con una segunda etapa del reglamento de instalaciones eléctricas para navíos, para asegurar la vida de la tripulación ante eventos eléctricos, enfocado a los sistemas de puesta a tierra y el apantallamiento, bajo los parámetros de un ambiente electromagnéticamente compatible.

El presente no es un reglamento en los temas que aborda, sin embargo se constituye en una herramienta de soporte en el macroproyecto que constituye el RIEN.

Aunque la bibliografía es poca y limitada acerca del estudio de protecciones contra sobretensiones en embarcaciones, se logró hacer un primer acercamiento en la búsqueda de información especializada aplicable a este tema. Se logró ubicar información particular acerca de normatividad y recomendaciones para el diseño de instalaciones eléctricas. Estudiando la aplicabilidad de las normas existentes de estructuras comunes para análisis de riesgos y protecciones, encontramos algunas restricciones por el tipo de estructura estudiada, por lo que fue necesario realizar algunas aproximaciones con la aplicación de las normas existentes.

El hecho que los SPT a bordo de la mayoría de los buques sean aislados, implica que los tripulantes deben conocer el funcionamiento real de los mismos, con el fin que estos no caigan en mitos de sistemas ideales, y tengan todas las precauciones de seguridad del caso.

En este documento por enfocarse en los sistemas eléctricos de apantallamiento y de puesta a tierra, las técnicas de mitigación de EMC también se orientaron en este sentido, sin embargo hay que realizar la aclaración que estas no son las únicas técnicas de mitigación existentes.

Las técnicas de mitigación ante las interferencias electromagnéticas deben tomarse en cuenta en las etapas preliminares del diseño, y no cuando la instalación se encuentra finalizada o a punto de hacerlo. Ya que en este último momento, esta tarea seguramente resultara mucho más complicada de lograr un ambiente electromagnéticamente compatible, y en el peor de los casos imposible de hacer, por impedimentos de la disposición física de la instalación y/o por los altos costos que puede llegar a representar soluciones de último momento.

Se recomienda someter el documento expuesto a revisión por autoridades y personal experta en el tema con el propósito realizar la evaluación de la información consignada en el presente documento.

5. BIBLIOGRAFIA

- [1] IEC 61024-1, International Standard. Protection of structures against lightning: Part 1: General principles. IEC, 1990-03.
- [2] IEC 61000-5-2, Technical Report. Electromagnetic Compatibility (EMC). Part 5: Installation and Mitigation guidelines. Section 5: Earthing and Cabling. First Edition. IEC, 1997-11.
- [3] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS. Recommended Practice for electric Installations on Shipboard IEEE Std 45 – 2002.
- [4] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. Electrical and electronic installations in ships-Electromagnetic compatibility. Second edition. IEC, 1999. (IEC 60533).
- [5] JIMENEZ GONGORA CLAUDIA J., RAMIREZ RAMIREZ OLGA C., Tesis de grado: Valoración del sistema de protección contra sobretensiones en embarcaciones fluviales que operan en los ríos colombianos, estudio de caso. Tesis de grado, Universidad Nacional de Colombia, 2006.
- [6] NSTM, Naval Ship Technical Manual, Group 300. Electrical Plant – General. Fourth Revision, 11 March 1997.
- [7] NTC 4552, Norma técnica Colombiana, Protección contra descargas eléctricas atmosféricas, NTC 1999-07-28.
- [8] PÉREZ CORTES MARILUZ, MERCADO HERRERA YINA P., Tesis de grado: Reglamento Instalaciones Eléctricas para Navíos “RIEN”, Universidad Tecnológica de Bolívar, 2006.
- [9] MARTINEZ LOZANO MIGUEL., Protección contra descargas atmosféricas. Universidad Simón Bolívar Caracas - Venezuela, 2006
- [10] Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE). Resolución no. 18 -1294 de agosto 06 de 2008.

ANEXOS

5.1. ANEXO A. CALCULOS PARA DETERMINAR EL INDICE DE RIESGO REAL (SOBRETENSIONES) EN UNA ESTRUCTURA [1] [7].

Según las normas especificadas y mencionadas anteriormente la estimación del número de impactos de rayos por año o índice de riesgo real (Nr) a descargas atmosféricas que sufre una estructura, se puede determinar a través de:

$$Nr = Ng * A_E * 10^{-6} (\text{rayos/año})$$

Donde Ng, es la densidad de rayos a tierra (DDT), por Km² y año. Este dato se obtiene directamente de mapas y es dependiente de la zona geográfica o zona por la cual transitara la embarcación.

A_E corresponde al área de atracción equivalente de la estructura y se calcula:

$$A_E = (L * W) + (2 * L * H) + (\pi * H^2) m^2$$

L, W y H corresponden al largo, ancho y alto de la estructura en metros respectivamente

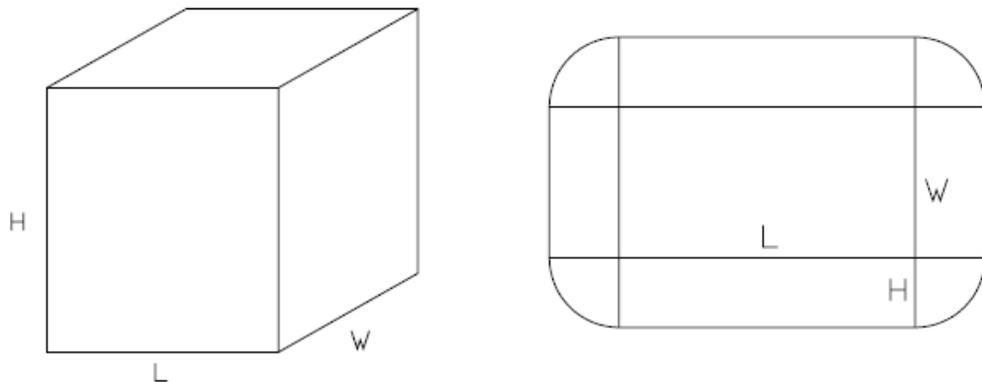


Figura 6.1. Estimación del área efectiva A_E

5.2. ANEXO B. PRECAUCIONES SOBRE UN SISTEMA AISLADO EN UN BUQUE [6].

Hasta el momento se ha explicado la realidad de un sistema eléctrico aislado, el cual es de común uso a bordo de una embarcación. Esto implica que se deben seguir ciertas precauciones para evitar accidentes causados por choques eléctricos:

- Siempre hay que evitar el contacto con un conductor desnudo.
- Cuando sea necesario el contacto con conectores desnudos se debe:
 - i. Desenergizar los conductores en los cuales se vaya a realizar el trabajo, además de todos aquellos que se encuentren cercanos y puedan ser accidentalmente alcanzados. Finalmente marcar los circuitos para asegurar que permanecerán sin energía hasta que finalice el trabajo; o
 - ii. Si es necesario el trabajo en conductores vivos, que a veces pasa, se debe observar y ejecutar todas las precauciones necesarias para proteger a la persona encargada del trabajo contra un choque eléctrico.

Esto aunque parezcan cosas triviales, son medidas de seguridad que a veces pasan desapercibidas, y el descuido de alguna de ellas puede conllevar a accidentes fatales.

5.2.1. Contacto con conductores.

Evitar el contacto con conductores energizados requiere de precaución constante y de hábitos laborales que minimicen la posibilidad de contactos. Las siguiente es al menos una de las consideraciones que hay que tener en cuenta:

- ❖ Nunca usar extensiones y otros equipos de tal manera que el conector macho pueda ser energizado, EXCEPTO que este se encuentre conectado en un tomacorriente. La razón es obvia. Si el conector esta energizado cuando no está en un tomacorriente, existe el peligro de un contacto accidental con una terminal viva. Personas han muerto por este motivo.

5.2.2. Desenergizar e Identificar los circuitos.

No hay necesidad de mantener circuitos energizados cuando se están haciendo maniobras en conductores desnudos. Para esto, no solo el circuito sobre el cual se está trabajando se debe abrir, sino también aquellos cercanos al área de trabajo; de igual manera, deben quedar plenamente identificados.

Aun más, los fusibles e interruptores desenergizados deben ser removidos por el operario para evitar que alguna persona más, inadvertidamente energice los circuitos involucrados.

Una vez se crea que el circuito ha sido desenergizado, se debe asegurar con un voltímetro la ausencia de tensión.

5.2.3. Trabajo sobre conductores energizados.

En algunas ocasiones es necesario trabajar sobre conductores energizados, pero esta labor se puede realizar a salvo si se hace correctamente, conociendo de antemano las precauciones del caso y ejecutarlas fielmente.

Como bien es sabido, el flujo de corriente eléctrica a través del cuerpo humano se realiza siempre que haya una entrada y una salida para la corriente. Por lo tanto, si una persona se encuentra trabajando con un conductor con las manos desprotegidas, estas se convierten en el punto de entrada. De ahí la exigencia de guantes aislantes.

Una vez identificado el punto de entrada, la precaución ahora es en detener la salida del flujo de corriente eléctrica, y esto se logra aislando a la persona de: la estructura que compone la tierra, y de las demás estructuras metálicas o conductoras conectadas a tierra, y finalmente de todas las líneas de potencia a excepción de la cual se esté trabajando.

En la medida de lo posible, cuando se esté trabajando bajo conductores energizados, el trabajo debe hacerse con una sola mano, de esta manera se evita posibles accidentes, donde la intervención de la segunda mano por contacto indeseado con una de las estructuras antes mencionadas se convierte en el punto de salida de corriente a través de la persona.