

**ALGUNAS NORMAS DE CALIDAD DE ENERGIA SEGÚN EL
CRITERIO DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA EN LOS
ESCENARIOS: EMBARCACIONES FLUVIALES Y SISTEMAS
ELECTRICOS DE BAJA TENSION.**

**MILAGROS AMPARO NAVARRO NAVIA
KATHERINE GUERRERO PAUTT**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.**

2012

**ALGUNAS NORMAS DE CALIDAD DE ENERGIA SEGÚN EL
CRITERIO DE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA EN LOS
ESCENARIOS: EMBARCACIONES FLUVIALES Y SISTEMAS
ELECTRICOS DE BAJA TENSION.**

**MILAGROS AMPARO NAVARRO NAVIA
KATHERINE GUERRERO PAUTT**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingenieros
Electricistas**

**DIRECTOR:
ING. GONZALO LOPEZ VERGARA
M.Sc en Telemática.**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR
FACULTAD DE INGENIERIA
PROGRAMA DE INGENIERIA ELECTRICA
CARTAGENA DE INDIAS D.T. Y C.
2012**

Cartagena de Indias D.T y C, Septiembre del 2012.

Señores:

**COMITÉ CURRICULAR
UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR
Facultad de Ingenierías
Cartagena De Indias D.T.C.**

Apreciados señores:

Luego de revisar el trabajo de grado titulado “*Algunas normas de calidad de energía según el criterio de compatibilidad electromagnética en los escenarios: embarcaciones fluviales y sistemas eléctricos de baja tensión.*”, realizado por las estudiantes MILAGROS AMPARO NAVARRO NAVIA y KATHERINE GUERRERO PAUTT; considero que cumple con los objetivos propuestos, por lo que estoy de acuerdo en presentarlo formalmente para su calificación y así las estudiantes puedan optar por el título de Ingenieros Electricistas.

Atentamente,

**ING. GONZALO LOPEZ VERGARA
DIRECTOR DE PROYECTO**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Cartagena de Indias D.T y C, Septiembre de 2012

1. CAPITULO 1. DEFINICIONES GENERALES.	11
1.1 PERTURBACIONES ELECTROMAGNÉTICAS.....	11
1.1.1 <i>Perturbación en baja frecuencia (BF) y alta frecuencia (AF).</i>	12
1.1.2 <i>Perturbación por armónicos.</i>	12
1.1.3 <i>Perturbaciones por transitorios.</i>	14
1.1.4 <i>Perturbación en la red pública de baja tensión (BT).</i>	15
1.2 INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS.....	15
2. CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE DE LAS NORMAS SELECCIONADAS DE LA CEM.	17
2.1 PRINCIPALES NORMATIVAS INTERNACIONALES DE LA CEM.....	19
2.1.1 <i>Norma UNE-EN 50160.</i>	19
2.1.2 <i>CEI Norma 61000-1-1.</i>	19
2.1.3 <i>Norma IEC 60533.</i>	24
2.1.4 <i>Práctica Recomendada para la caracterización de sobretensiones repentina de baja tensión en circuitos de alimentación de CA (1000 V y menos).</i>	27
2.1.5 <i>IEEE Guía para sobretensiones en circuitos de baja tensión de alimentación de CA como una referencia fundamental de lo realizado hasta la fecha de escritura del documento (IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002)</i>	32
2.1.6 <i>IEEE Práctica Recomendada para la prueba de carga para los equipos conectados a baja tensión (1000 V y menos) Circuitos de alimentación de CA.</i>	52
2.1.7 <i>Norma NTC 4552.</i>	60
2.1.8 <i>BS 6651.</i>	62
2.1.9 <i>IEC 61024-1-1.</i>	64
2.1.10 <i>NFPA780.</i>	72
3. CASO DE ESTUDIO Y EJEMPLOS DONDE SE APLICAN LAS NORMAS ESTUDIADAS.	74
3.1 EMBARCACIONES FLUVIALES.....	74
3.1.1 <i>Caso de estudio 1: Pruebas de inmunidad en equipos de comunicaciones para el buque Nodriz Fluvial IV.</i>	76
3.1.2 <i>Caso de estudio 2: Simulación de patrones de radiación y estimación de campos EM y corrientes superficiales inducidas en una embarcación pesquera.</i>	79
3.2 . SISTEMAS ELÉCTRICOS DE BAJA TENSIÓN CON ALIMENTACIÓN CA (1000V Y MENOS).....	81
3.2.1 <i>Aplicaciones de las normas NTC 4552, BS 6651, NFPA 780 y IEC 61024-1.1 a casos reales.</i>	85
4. RECOMENDACIONES.	102
5. CONCLUSIONES.	103

6.	BIBLIOGRAFIA.	106
7.	GLOSARIO.	107

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Ejemplo de un sistema en el cual hubo un fenómeno electromagnético.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 2. Señal en una serie de Fourier Representación espectral.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 3. Señal en una serie de Fourier Representación temporal.</i>	<i>13</i>
<i>Figura 4. Fuentes, medio de propagación y receptores.</i>	<i>15</i>
<i>Figura 5. Organigrama que muestra el desarrollo de la compatibilidad electromagnética a partir de los escenarios y normas seleccionadas.</i>	<i>18</i>
<i>Figura 6. Niveles de compatibilidad electromagnética.</i>	<i>20</i>
<i>Figura 7. Límites de emisión y compatibilidad (margen CEM).</i>	<i>20</i>
<i>Figura 8. Ejemplos del comportamiento de la tensión en función del tiempo de perturbaciones.</i>	<i>23</i>
<i>Figura 9. Muestra la forma de onda oscilatoria.</i>	<i>39</i>
<i>Figura 10. Formas de ondas que muestra apropiada para representar el ambiente en las acometidas de construcciones conectadas a sistemas de distribución con líneas aéreas.</i>	<i>40</i>
<i>Figura 11. Muestra El concepto de las categorías de ubicación como un enfoque de simplificación.</i>	<i>45</i>
<i>Figura 12. Muestra una descarga atmosférica de 100 kA los conductores primarios donde el apartarayos desvía esta corriente a los diversos conductores puestos a tierra.</i>	<i>50</i>
<i>Figura 13. Organigrama que muestra sistema integral de protección contra rayos.</i>	<i>60</i>
<i>Figura 14. Área efectiva (Ae). $A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2$.</i>	<i>67</i>
<i>Figura 15. Área circunvecina (Ag).</i>	<i>68</i>
<i>Figura 16. Ejemplo relacionado de una embarcación fluvial.</i>	<i>74</i>
<i>Figura 17. Determinación del área equivalente IEC 610.1.1.</i>	<i>89</i>
<i>Figura 18. Ubicación de distancias en lazo cerrado.</i>	<i>92</i>
<i>Figura 19. Estructura Hemeroteca aislada.</i>	<i>98</i>
<i>Figura 20. Esquema de lazos cerrados formados por los equipos que se van a proteger. Lazo inductivo formado por el pc y el cable telefónico.</i>	<i>101</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Relación de interferencia dada en alta y baja frecuencia.</i>	12
<i>Tabla 2. Resumen – Clasificación de normas EMC.</i>	21
<i>Tabla 3. Características principales de las normas internacionales de EMC.</i>	22
<i>Tabla 4. División de grupos de norma IEC 60533.</i>	24
<i>Tabla 5. Criterios de ensayos para simular eventos electromagnéticos a los que se oponen todos los equipos y sistemas, con el fin de mirar la fiabilidad en este tipo de entorno.</i>	25
<i>Tabla 6. Descripción de zonas.</i>	25
<i>Tabla 7. Descripción de límites de emisión de equipos en zona de distribución general.</i>	26
<i>Tabla 8. Descripción de límites de emisión de equipos en zona puente y cubierta.</i>	26
<i>Tabla 9. Requerimientos mínimo de inmunidad para equipos – EIC 60533.</i>	27
<i>Tabla 10. Formas de ondas adicionales propuestas desde la actualización IEEE C62.41 – 1991.</i>	42
<i>Tabla 11. Resumen de la aplicación de las formas de onda estándar y adicionales de sobretensiones de pruebas para las categorías Ubicación A, B, y C.</i>	47
<i>Tabla 12. Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización A y B para exposiciones Baja, Media y Alta para la forma de onda oscilatoria 0.5 μs-100 kHz.</i>	48
<i>Tabla 13. Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización B y C para exposiciones Baja, Media y Alta para la forma de Onda combinada estándar 1.2/50 μs-8/20 μs.</i>	49
<i>Tabla 14. Aplicaciones típicas según los niveles de exposición dados en la IEEE C62.41-1991.</i>	52
<i>Tabla 15. Factores de riesgo.</i>	61
<i>Tabla 16. Niveles de gravedad.</i>	61
<i>Tabla 17. Matriz de vulnerabilidad (IEC, 1995).</i>	66
<i>Tabla 18. Matriz de frecuencia de fallas (IEC61662,1995).</i>	69
<i>Tabla 19. Frecuencia de daño para cada tipo de falla.</i>	70
<i>Tabla 20. Factor del número permitido de fallas (IEC 61662, 1995).</i>	71
<i>Tabla 21. Riesgo aceptable de falla (IEC 61662, 1995).</i>	71
<i>Tabla 22. Valores de eficiencia en función del nivel de protección (IEC 61024-1-1, 2000: 25).</i>	72
<i>Tabla 23. Listados de equipos sensibles a CEM's instalados en la nave.</i>	76
<i>Tabla 24. Resumen de pruebas de la nodriza.</i>	78
<i>Tabla 25. Equipos de comunicación instalados en el pesquero.</i>	79
<i>Tabla 26. Potencias radiados por los elementos durante la simulación individual.</i>	80
<i>Tabla 27. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF PEC Vs. COBRE, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.</i>	80
<i>Tabla 28. Distorsión del patrón de radiación de antenas monopolo al estar ubicadas cerca.</i>	81
<i>Tabla 29. Relación de probabilidad y corriente pico.</i>	86
<i>Tabla 30. Índices de riesgos que representa la estructura.</i>	86
<i>Tabla 31. Niveles de gravedad.</i>	87
<i>Tabla 32. Determinación de riego.</i>	87
<i>Tabla 33. Muestra las estructuras adyacentes por estar a una distancia menor de $3x(h+h_s)$.</i>	88
<i>Tabla 34. Localización de categoría de localización y forma de onda.</i>	94
<i>Tabla 35. Índice de riegos.</i>	95
<i>Tabla 36. Clasificación de uso de estructura.</i>	96

INTRODUCCION

En este documento no se presenta un resumen detallado de cada norma ni pruebas mencionadas en estas, ya que por ser un estado del arte se asumirá un conocimiento general, una visión global e interpretación en algunas normas de calidad de energía según el criterio de compatibilidad electromagnética en los escenarios: embarcaciones fluviales y sistemas eléctricos de baja tensión, con el fin de incursionar en dichos temas, brindar una perspectiva de estos, evaluando sus principales tendencias y conduciendo a una herramienta necesaria para el desarrollo de los temas, siendo el estado del arte unas de las primeras etapas que debe realizarse dentro de una investigación.

El estado del arte le aporta al investigador, estudiante o lector una referencia de los temas permitiéndoles saber qué se ha hecho hasta la fecha de escritura del documento para evitar errores en la aplicación de las normas actualizada al tener nociones, conceptos que le originen hacerse preguntas según el tema específico.

En este contexto, se determinaron las siguientes etapas para el desarrollo:

- a) Identificación de fuentes pertinentes.
- b) Definición de criterios de clasificación.
- c) Registro descriptivo de la información.
- d) Análisis de la información por campos temáticos.
- e) Elaboración del documento analítico.

En la primera etapa se identificaron las investigaciones pertinentes para cada escenario de la compatibilidad electromagnética. En un primer momento se escogieron las normas más conocidas y mencionadas en las diferentes fuentes de investigación; y en un segundo, se delimitaron las investigaciones encontradas en cada una de ellas, según el uso e interés por parte de los fabricantes y usuarios de dispositivos eléctricos en los escenarios mencionados, es decir, que las normas encontradas en el documento no son las únicas existentes en los temas.

Una vez seleccionados los documentos se dio paso a la tercera etapa. Ésta consistió en la recolección de la información de las investigaciones, con base al criterio establecido anteriormente.

Recogida la información en cada escenario de la compatibilidad electromagnética, se avanzó en una primera interpretación analítica, que dio cuenta del abordaje de cada uno de ellos, llevando a la etapa final de redacción del escrito.

El documento está estructurado en cinco capítulos basado en el criterio EMC (compatibilidad electromagnética – CEM) siendo este que el término “calidad de energía” se refiere a una amplia variedad de fenómenos o perturbaciones electromagnéticas que caracterizan a la tensión y a la corriente en un momento determinado y en una localización determinada en el sistema de energía (*IEEE 1159:1995 “práctica recomendada del IEEE para el control de la calidad de energía eléctrica”*): las definiciones generales, el estado del arte de las normas seleccionadas en los escenarios: Medio fluviales y sistemas de baja tensión, La tercera parte corresponde al análisis de diferentes proyectos realizados acerca de compatibilidad electromagnética en dos escenarios relevantes y los últimos dos capítulos son recomendaciones y conclusiones generales del estudio.

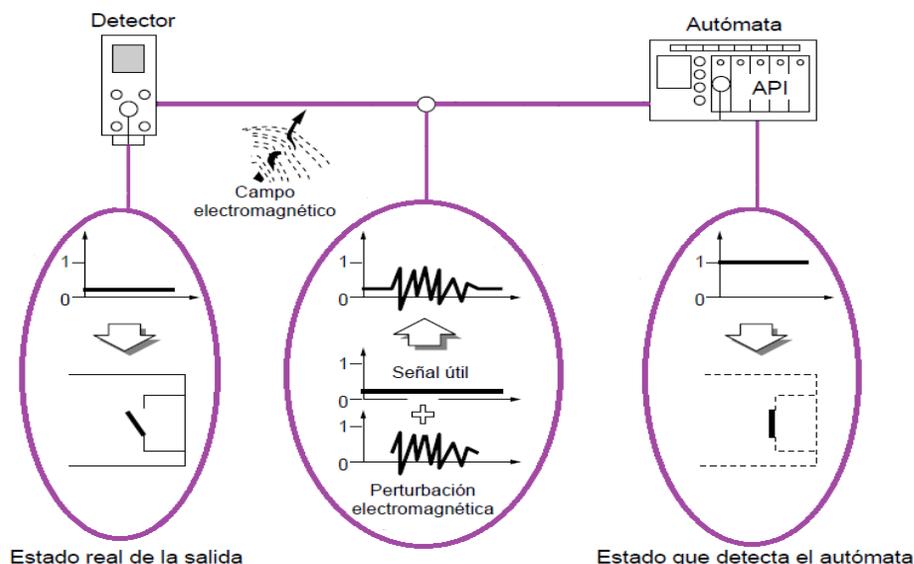
Téngase en cuenta que el criterio o termino anterior solo es utilizado como punto de partida para selección de normas y escenarios relacionados con la compatibilidad electromagnética vista como calidad de energía mas no se realizara el estado del arte de la práctica recomendada del IEEE para el control de la calidad de energía eléctrica (*IEEE 1159:1995*).

Se considera una interferencia o perturbación electromagnética a cualquier fenómeno electromagnético capaz de alterar o inferir en el correcto funcionamiento de un aparato o sistema eléctrico y electrónico.

1.1 Perturbaciones electromagnéticas.

Para que se produzca este tipo de fenómeno se requiere al menos una fuente que lo origine, un receptor o víctima que se vea afectado por ella y, por último, un medio a través del cual se propague y se produzca acoplamiento dependiendo de la impedancia y la frecuencia de los circuitos.

Las señales eléctricas no deseadas se suman por lo general a la señal útil provocando perturbaciones al sistema con señales parasitas, formando un campo eléctrico generado por una diferencia de potencial y un campo magnético en el conductor como lo muestra la *Figura 1*.



*Figura 1. Ejemplo de un sistema en el cual hubo un fenómeno electromagnético.*¹

¹Anónimo. Perturbaciones Electromagnéticas. En: Perturbación Electromagnética. [Medio electrónico]. Pág. 5, 2005; [consultado 02/05/2011]. Disponible en: < <http://www.donsion.org/calidad/cc1/c1-3.pdf> >

A continuación se mencionaran algunas de las perturbaciones que influyen en los escenarios del estado del arte de la CEM estudiados.

1.1.1 Perturbación en baja frecuencia (BF) y alta frecuencia (AF).

En BF se debe tener en cuenta que la energía conducida puede ser muy alta y como resultado los aparatos interconectados funcionan mal o se averían y en AF la energía radiada es baja y como resultado los dispositivos a su alrededor tiene mal funcionamiento, en la *tabla 1*, se muestra la relación de interferencia dada dependiendo del origen y el medio de propagación.

Clasificación	Zona de frecuencia	Origen	Medio de propagación	Duración
BF	0 < 10 kHz	Fuentes de alimentación	Conducción	Decenas de ms o en algunos casos armónicos permanentes
	10kHz - 150kHz	Transitorios de voltaje	Acoplamiento y conducción	
	150kHz - 5MHz	Transitorios de voltaje	conducción y acoplamiento	
AF	30MHz - 300MHz	Equipos de comunicación o circuitos lógicos de conmutación	Radiación	Tiempo de subida impulso menor a 10ns o permanentes
	500MHz - 18GHz		Radiación	

*Tabla 1. Relación de interferencia dada en alta y baja frecuencia.*²

1.1.2 Perturbación por armónicos.

Es una distorsión de ondas sinusoidales con amplitudes y fases diferentes, cuya frecuencia es un múltiplo entero de la fundamental (Frecuencia útil de la señal).

Los armónicos se caracterizan por:

- ✓ Amplitud: Hace referencia al valor de tensión o intensidad del armónico.
- ✓ Orden: Hace referencia al valor de su frecuencia referido a la fundamental.

Importante: Los armónicos son producidos por cargas no lineales, fluyendo por ella corriente no proporcional a la tensión; Por lo tanto cuando se aplica una onda sinusoidal de una sola frecuencia la corriente resultante no es de una sola frecuencia.

² Anónimo. Perturbaciones Electromagnéticas. En: Tipos de Perturbaciones Electromagnéticas. [Medio electrónico]. Pág. 5, 2005;[consultado 02/05/2011]. Disponible en: < <http://www.donsion.org/calidad/cc1/c1-3.pdf> >.

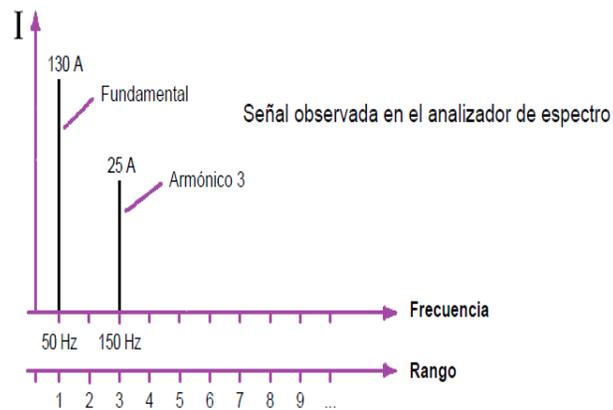


Figura 2. Señal en una serie de Fourier Representación espectral.³

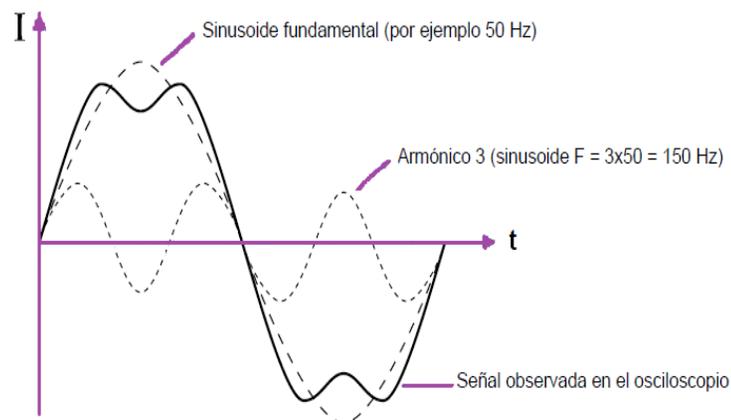


Figura 3. Señal en una serie de Fourier Representación temporal.⁴

En el ejemplo de la **Figura 2**, se puede observar que el orden del armónico es 3 porque es 3 veces superior a la fundamental, es decir $3 \times 50\text{Hz} = 150\text{Hz}$.

Y en la **Figura 3** se observa el mismo ejemplo pero en representación temporal.

Importante: tener en cuenta que las perturbaciones armónicas casi siempre se van a dar en perturbaciones a BF, esto quiere decir que se transmiten la gran mayoría por conducción.

Principales generadores de armónicos:

- ✓ Onduladores, convertidores directos de corriente continua.
- ✓ Puentes rectificadores, electrolisis, grupos de soldaduras etc.

^{3,4} Behrouz A. Forouzan. Transmisión de Datos. En: Tipos de Perturbaciones Electromagnéticas. [Medio electrónico]. Pág. 69, 2009; [consultado 04/05/2011]. Disponible en: < http://www.dte.us.es/ing_inf/arc1/1011/ARC1.1011.tema3.pdf>.

- ✓ Hornos de arco, hornos de inducción.
- ✓ Arrancadores electrónicos.
- ✓ Variadores de velocidad para motores de corriente continua.
- ✓ Convertidores de frecuencia para motores síncronos y asíncronos.
- ✓ Electrodomésticos: Televisores, licuadoras, afeitadoras, Lámparas.
- ✓ Circuitos magnéticos saturados.

Principales receptores de armónicos:

- ✓ Motores síncronos: Por calentamientos suplementarios.
- ✓ Transformadores: Por pérdidas y calentamientos suplementarios, riesgo de saturación por armónicos.
- ✓ Motores asíncronos: Por calentamientos suplementarios principalmente en motores de jaula de ardilla y en los de aletas.
- ✓ Cables: Por aumento de la perdidas resistivas y dieléctricas.
- ✓ Ordenadores: Problemas de funcionamiento provocados.
- ✓ Electrónica de potencia: Por la relación de las ondas de conmutación, sincronización, etc.
- ✓ Perturbaciones por transitorios.

1.1.3 Perturbaciones por transitorios.

Son las sobretensiones por impulsos acopladas en los circuitos eléctricos, referidas en los cables de fuerza, entrada de control y señal de equipos eléctricos y electrónicos.

Principales generadores de transitorios:

- ✓ Conmutación rápida de los interruptores mecánicos y electrónicos.
- ✓ Conmutación de un interruptor y tensión en sus bornes.

Principales fuentes de transitorios:

- ✓ Rayos, fallos de la conexión a tierra.
- ✓ Fallos en la conmutación de circuitos.
- ✓ Perturbaciones de alta frecuencia.
- ✓ Acople entre cables por medio de radiación.

1.1.4 Perturbación en la red pública de baja tensión (BT).

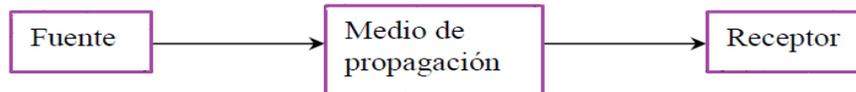
Los efectos que se van a mencionar son de baja frecuencia (BF).

- ✓ Tensión: Variación, cortes, caídas, sobretensiones.
- ✓ Frecuencia: Variaciones.
- ✓ Forma de onda: Armónicos, transitorios, corrientes portadores.
- ✓ Fases: Desequilibrio.
- ✓ Potencia: Corto circuitos, Sobrecargas.

1.2 Interferencias electromagnéticas.

Para que se produzca una interferencia electromagnética, debe haber básicamente tres elementos dentro de un mismo entorno electromagnético:

- ✓ Fuente o emisor, que es quien produce la interferencia.
- ✓ Camino o medio de propagación, a través del cual se acopla la Interferencia.
- ✓ Receptor o víctima, que es quien sufre la interferencia.



*Figura 4. Fuentes, medio de propagación y receptores.*⁵

En la *figura 4* se presentan los elementos necesarios para que exista un entorno electromagnético.

El concepto de fuente y receptor nos lleva hablar de la sensibilidad de los equipos eléctricos y electrónicos o los equipos y protección de estos que comprende la confrontación de un entorno hostil y de un equipo sensible.

La protección del equipo sensible que opera en un ambiente hostil es el objetivo de la tecnología de compatibilidad electromagnética, en la que los equipos eléctricos y electrónicos operen en este entorno sin sufrir o causar interferencia electromagnética que degrade su funcionamiento. Determinar el nivel de sensibilidad del equipo es un aspecto difícil de cuantificar ya que se requiere la información precisa de los fabricantes.

⁵ Rivas S. Carlos. Compatibilidad Electromagnética. En: Introducción a La Compatibilidad Electromagnética. [Medio electrónico]. Pág. 78, 2002; [consultado 11/04/2011]. Disponible en: <<http://www.tesis.ufm.edu.gt/pdf/3394.pdf>>.

Citando específicamente el caso de los sistemas eléctricos de baja tensión (1000 V y menos), los dispositivos de protección contra sobretensiones transitorias (DPS) están conceptualizados por las normas internacionales como equipos destinados a proteger las instalaciones eléctricas contra aquellas sobretensiones (elevaciones de voltaje) generadas por fenómenos transitorios. Estos fenómenos inesperados traen consigo consecuencias dramáticas para las instalaciones y cargas sensibles. Por esta razón, su importancia dentro del sistema de protecciones.

El dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias - DPS según la norma NTC 4552 es un dispositivo destinado a limitar las sobretensiones transitorias, evacuando las corrientes asociadas a dicha sobrevoltaje.

Los transitorios son efectos breves o sobretensiones que típicamente duran unos cuantos microsegundos. Los transitorios oscilan desde unos cuantos voltios hasta más de 20.000 voltios, con sobrecorrientes que exceden los 10.000 amperios, según lo define la norma ANSI/IEEE C62.41 y pueden ocurrir con frecuencias de 180.000 a 432.000 veces por hora en los entornos industriales extremadamente activos. La velocidad de un transiente es aproximadamente de 2 millas en un milisegundo.

Es importante diferenciar los pararrayos de los dispositivos supresores de tensión, los pararrayos no hacen más que desviar la descarga atmosférica a tierra. Un protector contra sobretensión crea una vía para conducir el exceso de voltaje a tierra, y permite que ingrese a las instalaciones el voltaje de nivel seguro⁶.

La eliminación de transitorios no es un lujo, ¡Es una necesidad!

⁶ TPR Power Quality. En: Energía Eléctrica un Producto con Calidad. [Medio electrónico]. Pág. 2, 2002; [consultado 09/04/2012]. Disponible en: < <http://tprprotecciones.com/eec.pdf>>.

Según un criterio EMC (compatibilidad electromagnética – CEM) el término “calidad de energía” se refiere a una amplia variedad de fenómenos o perturbaciones electromagnéticas que caracterizan a la tensión y a la corriente en un momento determinado y en una localización determinada en el sistema de energía (*IEEE 1159:1995 “práctica recomendada del IEEE para el control de la calidad de energía eléctrica”*), basados en dicho criterio en este capítulo se describen los límites y el comportamiento de las perturbaciones e interferencias, mediante las principales normativas internacionales de la CEM, para el correcto funcionamiento de los diferentes dispositivos, equipos y sistemas eléctricos y electrónicos de baja tensión implicados en los dos escenarios seleccionados, siendo uno de estos poco común embarcaciones fluviales y el restante sistema eléctricos de baja tensión de vital importancia e interés en el momento de investigar de la calidad de energía como compatibilidad.

Téngase en cuenta que el criterio o termino anterior solo es utilizado como punto de partida para selección de normas y escenarios relacionados con la compatibilidad electromagnética vista como calidad de energía mas no se realizara el estado del arte de la práctica recomendada del IEEE para el control de la calidad de energía eléctrica (*IEEE 1159:1995*).

Se resaltaran los siguientes estudios de:

- ✓ UNE EN 50160: Norma de interferencias y perturbaciones en calidad de potencia.
- ✓ IEC 61000: Norma compatibilidad electromagnética
- ✓ IEC 60533: Niveles de inmunidad de perturbación como: variaciones de tensión de alimentación, descargas electrostáticas y descargas eléctricas atmosféricas tipo rayo en buques.
- ✓ IEEE Std C62.41.1 TM -2002: Práctica recomendada sobre el medio ambiente de las sobretensiones en circuitos de baja tensión de corriente alterna.
- ✓ IEEE Std C62.41.2 TM -2002: Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas en circuitos de baja tensión de corriente alterna.

- ✓ IEEE Std C62.45 TM -2002: Práctica recomendada en las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.
- ✓ Norma NTC 4552: Norma Técnica Colombiana protección contra descargas eléctricas atmosféricas.
- ✓ BS 6651: Norma Británica de protección contra rayos.
- ✓ IEC 61024-1.1: Norma de protección contra rayos de la Comisión Electrotécnica Internacional.
- ✓ NFPA780: (USA) código para sistemas de protección contra rayos.

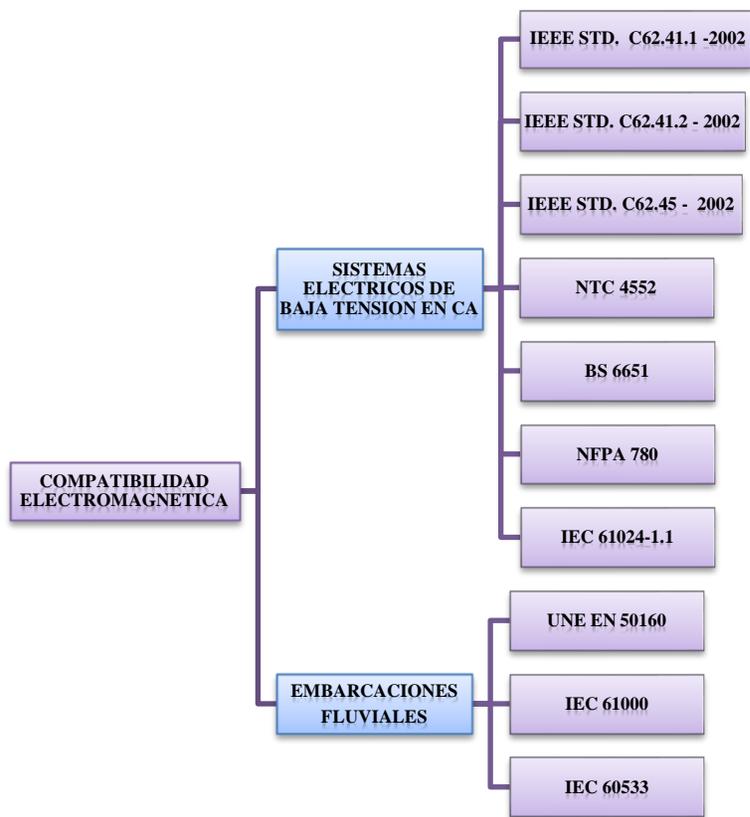


Figura 5. Organigrama que muestra el desarrollo de la compatibilidad electromagnética a partir de los escenarios y normas seleccionadas.

2.1 Principales normativas internacionales de la CEM.

A continuación se muestran las principales normas internacionales de la compatibilidad electromagnética que hace referencia a los entornos electromagnéticos que se van a desarrollar.

2.1.1 Norma UNE-EN 50160. Es la norma europea básica en calidad de la energía eléctrica, describe las características principales que debe tener la tensión suministrada por una red general de distribución en baja y en media tensión en condiciones normales de explotación y en el punto de entrega al cliente.

“Esta norma da los límites o los valores de las características de la tensión que todo cliente tiene derecho a esperar, y no da los valores típicos en la red general de distribución”.

Importante: no es una norma de niveles, ni límites de emisiones de CEM.

2.1.2 CEI Norma 61000-1-1. Define la Compatibilidad electromagnética como dos condiciones:

“Es aparato, equipo o sistema que debe ser capaz de operar adecuadamente en su entorno sin ser interferido por inmunidad o susceptibilidad electromagnética”

“No debe ser fuente de interferencias que afecten a otros equipos de su entorno por emisiones electromagnéticas”

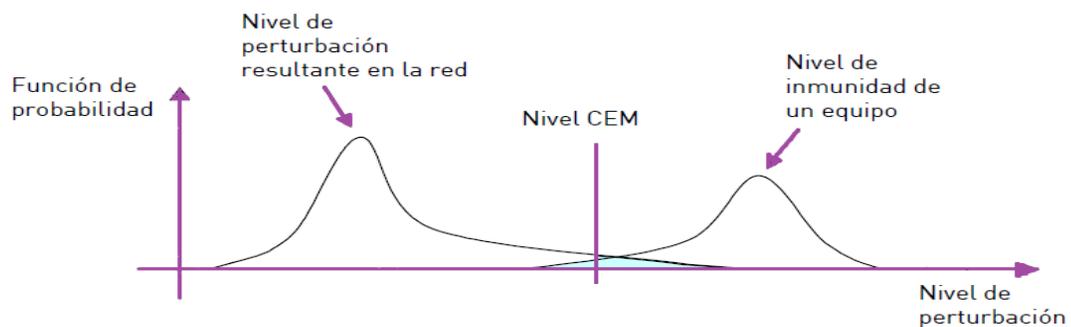
Se habla también de un nivel de CEM (nivel especificado de perturbación para el cual debe de existir una probabilidad aceptable de CEM (probabilidad de no ser superado de 5%) de no ser superado se habla de:

Límite de emisión: en equipos conectados a una red se exige que estos emitan menos que el nivel de CEM menos una cantidad límite de emisión, para garantizar éxito del funcionamiento de la red al conectar a ellos varios equipos simultáneos.

Límite de inmunidad: exige a los fabricantes que sus equipos deben de ser inmune al nivel de CEM más una cantidad, para exigir éxito del funcionamiento al tener conectado estos equipos a la red con perturbaciones.

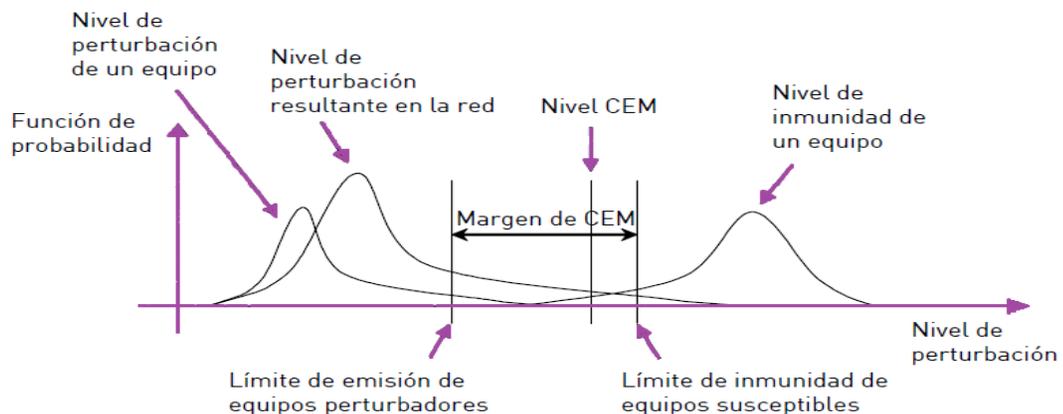
Organismos de normalización proponen unos niveles de CEM para las perturbaciones de la onda de tensión en el caso de calidad de energía se hace para los distribuidores, consumidores y fabricantes de equipos.

En la *figura 6*, se observan los diferentes niveles de emisión de una perturbación específica como resultante de combinar las perturbaciones generadas con un gran número de fuentes similares comparándose con el nivel CEM para dicha perturbación, mostrando como región sombreada la probabilidad de que el equipo no sea inmunes a niveles de perturbación inferiores al nivel de CEM indicados en la curva de densidad de probabilidad del nivel de inmunidad del equipo.



*Figura 6. Niveles de compatibilidad electromagnética.*⁷

En la *figura 7*, muestra la distancia de los límites de emisión e inmunidad de cada equipo como el margen de CEM, acotando las desviaciones admisibles en los niveles de emisión o de inmunidad de los equipos.



*Figura 7. Límites de emisión y compatibilidad (margen CEM).*⁸

⁷Silva Ferrán. Compatibilidad Electromagnética (CEM). En: Niveles de Compatibilidad electromagnética. [Medio electrónico]. Pág. 56, 2004; [consultado 26/04/2011]. Disponible en: < http://www.tuv.com/ar/compatibilidad_electromagnetica.html >.

En la *tabla 2* que se presenta un resumen de las norma CEI con respecto a CEM, desarrolladas por el comité encargado del desarrollo normativo.

Referencias	Tipo de norma
CEI 61000 - 1 - x	Generalidades (consideraciones generales, definiciones)
CEI 61000 - 2 - x	Entorno (Descripción y clasificación de entorno, niveles de compatibilidad)
CEI 61000 - 3 - x	Limites (emisión y de inmunidad)
CEI 61000 - 4 - x	Técnicas de ensayo y medida
CEI 61000 - 5 - x	Guías de instalación y atenuación
CEI 61000 - 6 - x	Normas genéricas
CEI 61000 - 9 - x	Varios

*Tabla 2. Resumen – Clasificación de normas EMC.*⁹

El primer número de la referencia es la norma 61000 asociado al comité técnico y el segundo término que va del 1 al 9 se asocia al tipo de norma el cual puede ser genérico, en base al entorno etc.

A continuación en la *tabla 3*, se muestra un resumen de los intervalos de tiempo que dura las perturbaciones que se generan en la calidad de energía basados en las normas más importantes EN 50160 y la CIE 61000, caracterizada por baja tensión y EN 50160, caracterizada por la tensión de entrada.

⁸ Silva Ferrán. Compatibilidad Electromagnética (CEM). En: Límites de emisión y Compatibilidad Electromagnética. [Medio electrónico]. Pág. 56, 2004; [consultado 26/04/2011]. Disponible en: < http://www.tuv.com/ar/compatibilidad_electromagnetica.html >.

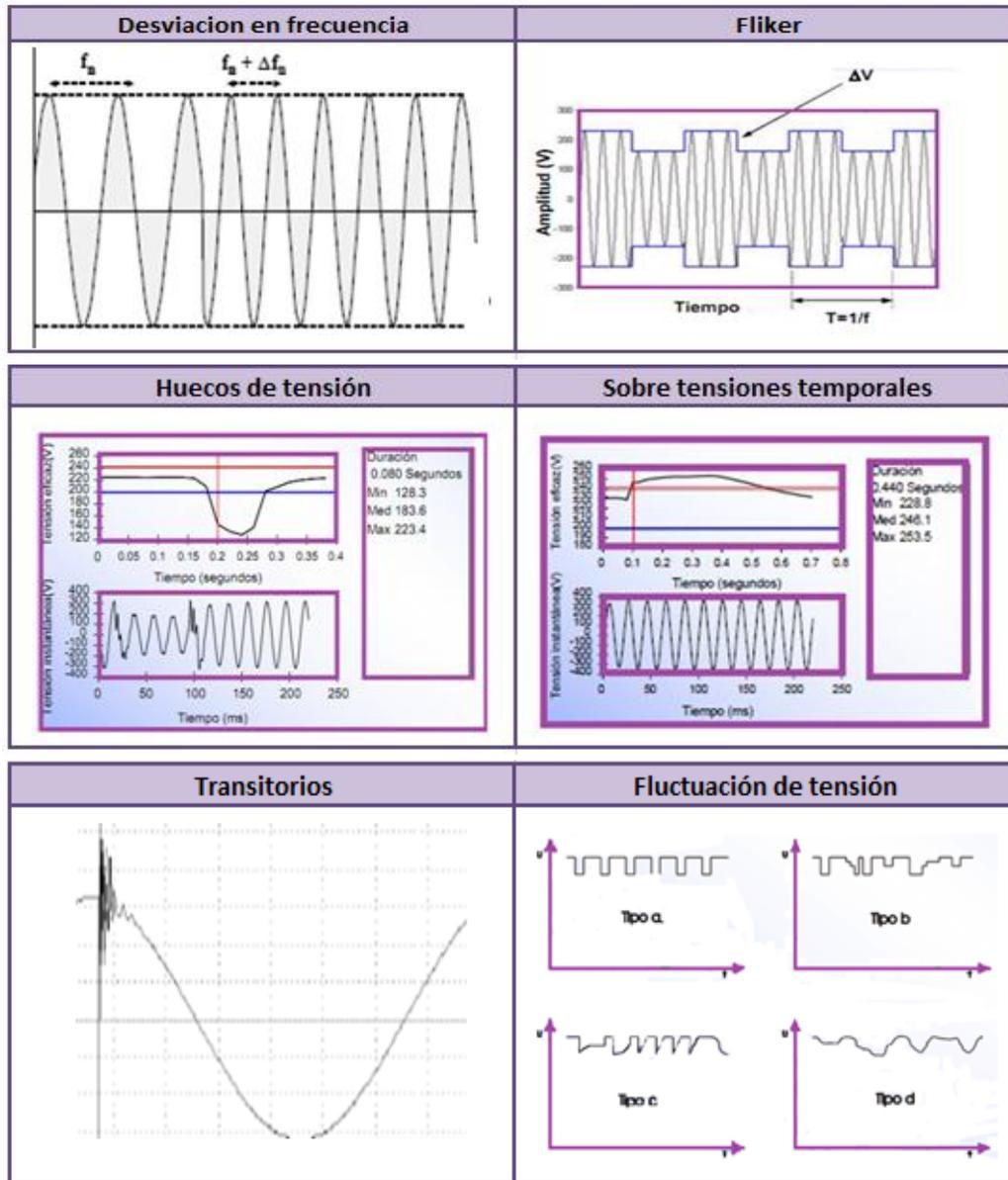
⁹ Tomado de las principales normas de CEM EN 50160 y la CIE 61000, EN 50160.

Parámetro	Características de la tensión de entrada según la Norma EN 50160	Características de Baja Tensión según la serie EN 61000 de EMC	
		EN 61000-2-2	Otras normas
Frecuencia	BT, MT: valor medio de la fundamental medida a lo largo de 10 seg. ±1% (49,5 – 50,5 Hz) durante el 99,5% de la semana - 6%/+4% (47 – 52 Hz) durante el 100% de la semana	2%	
Variaciones de la tensión suministrada	BT, MT: ±10% durante el 95% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos (Figura 1)		±10% aplicado durante 15 minutos
Cambios bruscos de tensión	BT: 5% normal 10% infrecuente Plt ≤ 1 para el 95% de la semana MT: 4% normal 6% infrecuente Plt ≤ 1 para el 95% de la semana	3% normal 8% infrecuente Pst < 1,0 Plt < 0,8	3% normal 4% máximo Pst < 1,0 Plt < 0,65 (EN 61000-61, 6-2) hasta 60% durante 1000 ms (EN 61000-6-2)
Huecos en la tensión suministrada.	La mayoría: duración <1 seg., caída <60% Caídas locales limitadas causadas por una carga al conectarse: BT: 10 – 50%, MT: 10 – 50% (Figura 1)	Zonas urbanas: 1 – 4 meses	Hasta el 30% durante 10 ms Hasta el 60% durante 100 ms (EN 61000-6-1, 6-2) hasta 60% durante 1000 ms (EN 61000-6-2)
Interrupción breve de la tensión de suministro	BT, MT: (hasta 3 minutos) Pocas decenas – pocas centenas / año Duración del 70% de las interrupciones < 1 seg.		Reducción del 95% durante 5 seg. (EN 61000-6-1, 6-2)
Interrupción prolongada de la tensión de suministro	BT, MT: (mayor de 3 minutos) <10 – 50/año		
Sobretensión temporal a la frecuencia de la red	BT: <1,5 kV rms MT: 1,7 Uc (directamente a tierra o a través de una impedancia) 2,0 Uc (sin toma de tierra o tierra compensada)		
Sobretensiones transitorias	BT: generalmente < 6kV, ocasionalmente mayor, tiempo de subida: ms - μs. MT: No definido		± 2 kV, fase a tierra ± 1 kV, fase a fase 1,2/50(8/20) Tr/Th μs (EN 61000-2-12)
Desequilibrio de tensión de suministro	BT, MT hasta 2% durante el 95% de la semana, media de valores eficaces medidos en periodos de 10 minutos, hasta el 3% en algunos lugares	2%	2% (IEC 61000-2-12)
Tensión armónica	BT, MT: véase Tabla 2	6%-5°; 5%-7°; 3,5%-11%; 3%-13°; THD < 8%	5%-3°; 6%-5°; 5%-7°; 1,5%-9°; 3,5%-11°; 3%-13°; 0,3%-15°; 2%-17° (EN 61000-3-2)
Tensión interarmónica	BT, MT: en estudio	0.2%	

Tabla 3. Características principales de las normas internacionales de EMC. ¹⁰

¹⁰ Tomado de las principales normas de CEM EN 50160 y la CIE 61000, EN 50160.

En la *figura 8*, se observan el comportamiento de la tensión en función del tiempo para perturbaciones generadas en calidad de energía.



*Figura 8. Ejemplos del comportamiento de la tensión en función del tiempo de perturbaciones.*¹¹

¹¹ J. Barrow, R. Evolución de Campos Magnéticos a través de Perturbaciones Electromagnéticas. En: Comportamiento De la Tensión en Función Del Tiempo De Perturbaciones. [Medio electrónico]. Pág. 112, 2009; [consultado 04/05/2011]. Disponible en: < http://www.observatorio.unal.edu.co/cocoa/presentaciones/H_Hortua.pdf>.

2.1.3 Norma IEC 60533.

Esta norma internacional especifica los requisitos mínimos para emisión, inmunidad y los criterios de aceptación con respecto a la compatibilidad electromagnética de equipos eléctricos y electrónicos en embarcaciones, haciendo referencia a la resolución IMO (International Maritime Organization).

La norma IEC 60533 ofrece directrices y recomendaciones sobre las medidas para lograr EMC en instalaciones eléctricas y electrónicas de los grupos de equipos el cual se pueden observar en la *tabla 4*.

Grupo	Tipo
A	Radio comunicación y equipo de navegación
B	Generación de energía y equipos de conversión
C	equipos de potencia pulsante
D	Sistemas de conmutación y control
E	Intercomunicación y procesamiento de señales
F	No eléctrico los elemento y equipos
G	Sistemas integrados

*Tabla 4. División de grupos de norma IEC 60533.*¹²

El proceso de validez del nivel de compatibilidad electromagnética va asociado a la etapa de ensayo de los equipos que funcionan en este ambiente sin tener ninguna contemplación en el ámbito de embarcaciones, a continuación se describen en la *tabla 5*, estos criterios que son estandarizados con el fin de ver la fiabilidad de la operación dentro del periodo de vida útil sumergido en el entorno electromagnético.

¹² Tomado de las principales normas de CEM EN 50160 y la CIE 61000, EN 50160.

Grupo	Tipo	Criterio
A	Radio comunicación y equipo de navegación	Equipo bajo prueba debe operar normalmente durante y después, Sin permitir ningún tipo de degradación del desempeño especificado por el fabricante.
B	Generación de energía y equipos de conversión	Equipo bajo prueba debe operar normalmente durante y después, sin permitir ningún tipo de degradación del desempeño de funciones específicas dado por el fabricante; Además durante la prueba se aceptan pérdidas de funcionamiento solo si es recuperada por el mismo.
C	equipos de potencia pulsante	Equipo bajo prueba se acepta degradación, pérdidas, puede que el equipo se recupere por sí mismo o requiera intervención del operario para que continúe funcionando.

*Tabla 5. Criterios de ensayos para simular eventos electromagnéticos a los que se oponen todos los equipos y sistemas, con el fin de mirar la fiabilidad en este tipo de entorno.*¹³

A continuación en la *tabla 7*, se denota la caracterización de equipos sensibles o perturbadores.

Zona	Características de las áreas
Zona de cubierta y puente	cercana a las antenas receptoras, antenas transmisoras y cuarto de radio(equipos de intercomunicación, procesamiento de señales, radiocomunicación y equipo auxiliar)
Distribución General de energía	Consumidores normales de baja potencia
Distribución especial de energía	Sistemas de propulsión, hélices transversales, sistemas de mediana y alta potencia
Acomodación	Pasajeros y mercancía

*Tabla 6. Descripción de zonas.*¹⁴

Para establecer los límites de emisión de acuerdo a la distribución de equipos en cubierta principal, puente y a lo largo de la zona de distribución de energía la norma IEC 60533 establece en las *tablas 7* y *tabla 8* los límites en cada zona medida a 3 metros de distancia ambas:

^{13,14} Tomado de las principales normas de CEM EN 50160 y la CIE 61000, EN 50160.

Zona	Rango de frecuencias	Limites	Estándar
Emisión radiada	150 kHz a 300kHz	80dB μ V/m a 50dB μ V/m	CISPR 16-1
	300kHz a 30MHz	60dB μ V/m a 54dB μ V/m	CISPR 16-2
	30MHz a 2GHz	54dB μ V/m	
	Excepto 156MHz a 165MHz	24dB μ V/m	
Potencia, I/o de señal y control (Emisión conducida)	10 kHz a 150kHz	120dB μ V/m a 69dB μ V/m	CISPR 16-1
	150kHz a 500kHz	69dB μ V/m	CISPR 16-2
	500kHz a 30MHz	73dB μ V/m	

Tabla 7. Descripción de límites de emisión de equipos en zona de distribución general.¹⁵

Zona	Rango de frecuencias	Limites	Estándar
Emisión radiada	150 kHz a 300kHz	80dB μ V/m a 52dB μ V/m	CISPR 16-1
	300kHz a 30MHz	52dB μ V/m a 34dB μ V/m	CISPR 16-2
	30MHz a 2GHz	54dB μ V/m	
	Excepto 156MHz a 165MHz	24dB μ V/m	
Potencia, I/o de señal y control (Emisión conducida)	10 kHz a 150kHz	96dB μ V/m a 50dB μ V/m	CISPR 16-1
	150kHz a 350kHz	60dB μ V/m a 50dB μ V/m	CISPR 16-2
	350kHz a 30MHz	50dB μ V/m	

Tabla 8. Descripción de límites de emisión de equipos en zona puente y cubierta.¹⁶

2.1.3.1 Niveles de inmunidad.

De acuerdo a la norma IEC 60533 se establecen los niveles mínimos de inmunidad que se requieren y prueban en un ambiente electromagnético listados en la siguiente tabla 9:

^{15,16} Tomado de las principales normas de CEM EN 50160 y la CIE 61000, EN 50160.

Puerto	Fenómeno	Valor de prueba	Criterio	Estándar
AC	Interferencia conducida de baja frecuencia	10% AC 50Hz a 900Hz 10% a 1% 900 a 6kHz 1% 6kHz a 10kHz	A	IEC 61000-4-16
	Variaciones en la fuente	Tensión: $\pm 20\%$ durante 1.5s Frecuencia: $\pm 10\%$ durante 5s	A	IEC 61000-4-11
	Falla en la fuente	60s de interrupción	C	IEC 61000-4-11
	Transitorios rápido	2kV	B	IEC 61000-4-4
	Descargas tipo rayo	0.5kV/1kV	B	IEC 61000-4-5
	Interferencia conducida de radio frecuencia	3Vrms; (10kHz) 150kHz a 80MHz. Tasa de barrido $\leq 1.5 \text{ e-3}$ décadas; modulación 80% AM(1kHz)	A	IEC 61000-4-6
DC	Interferencia conducida de baja frecuencia	10%DC 50Hz a 10kHz	A	IEC 61000-4-16
	Variaciones en la fuente	Voltaje +20% / -25% equipos no conectados a batería	A	IEC 61000-4-11
	Falla en la fuente	60s de interrupción	C	IEC 61000-4-11
	Transitorios rápido	2kV	B	IEC 61000-4-4
	Descargas tipo rayo	0.5kV/1kV	B	IEC 61000-4-5
	Interferencia conducida de radio frecuencia	3Vrms; (10kHz) 150kHz a 80MHz. Tasa de barrido $\leq 1.5 \text{ e-3}$ décadas; modulación 80% AM(1kHz)	A	IEC 61000-4-6
Puerto o señal de control	Transitorios eléctricos rápidos	1kV	B	IEC61000-4-4
	Interferencia conducida de radio frecuencia	3Vrms; (10kHz) 150kHz a 80MHz. Tasa de barrido $\leq 1.5 \text{ e-3}$ décadas; modulación 80% AM(1kHz)	A	IEC 61000-4-6
Enclosure	Descargas electrostáticas ESD	6kV contacto / 8kV al aire	B	IEC61000-4-2
	Campo electromagnético	10 V/m; 80MHz a 2GHz. Tasa de barrido $\leq 1.5 \text{ e-3}$ décadas. Modulación 80% AM (1KHz)	A	IEC 61000-4-3

Tabla 9. Requerimientos mínimo de inmunidad para equipos – EIC 60533.¹⁷

2.1.4 Práctica Recomendada para la caracterización de sobretensiones repentina de baja tensión en circuitos de alimentación de CA (1000 V y menos).

Esta práctica recomendada es el resultado de 20 años de evolución desde su inicio en 1980 con el documento IEEE Std 587 Guía IEEE para sobretensiones en circuitos de baja tensión de alimentación de CA, que rápidamente se convirtió en el estándar IEEE C62.41 con el mismo título. La guía fue actualizada en 1991 como IEEE Std. C62.41-1991 IEEE Práctica recomendada de sobretensiones en circuitos de baja tensión de alimentación de CA, lo que refleja nuevos datos sobre el medio ambiente y el aumento de experiencia en el uso (y abuso) de la guía original. El propósito del

¹⁷ Tomado de las principales normas de CEM EN 50160 y la CIE 61000, EN 50160.

documento era y sigue siendo proporcionar información sobre el medio ambiente contra sobretensiones y ofrecer recomendaciones a las partes interesadas que participan en el desarrollo de normas de ensayo y la aplicación relacionadas con los dispositivos de protección contra sobretensiones (SPD), así como recomendaciones a los diseñadores de equipos y usuarios.

La versión de 1980, sobre la base de los datos disponibles hasta 1979, propone dos nuevos conceptos:

- a) La reducción de una compleja base de datos a dos representaciones de los aumentos repentinos: una nueva onda de anillo, con una oscilación de 100 kHz en descomposición, y la combinación de la clásica y aceptada forma de onda de tensión de 1.2/50 μ s y 8/20 μ s de forma de onda de corriente en una combinación de onda entregadas por un generador de impulsos con una tensión de circuito abierto y la corriente de cortocircuito.
- b) El concepto de que las categorías de ubicación podría ser definido dentro de una instalación donde se propagan sobretensiones incidente sobre la entrada de servicio de una instalación o generados dentro de una instalación, sin disminuir, en los circuitos de derivación, mientras que las corrientes asociadas, son obstaculizadas por la inductancia del conductores, se reduciría los valores observados en los circuitos situados cerca de la entrada de servicio disminuyendo los valores observados en los circuitos situados en el extremo de circuitos derivados largos.

La versión de 1991, sobre la base de datos adicionales, así como experiencia en el uso de la guía de 1980, mantiene los conceptos de las categorías de ubicación y la recomendación de representaciones de sobretensiones.

La base de las dos oleadas, la onda y la onda Anillo de combinación, fueron designados como formas de ondas estándares de pruebas de sobretensiones y tres nuevas formas de onda se han añadido al menú. Seguido a esto surge un documento de acompañamiento, IEEE Std. C62.45-1992, IEEE Guía sobre la Prueba de sobretensiones para equipos conectados a circuitos de baja tensión de alimentación de CA, se ha desarrollado, describiendo los procedimientos para evitar errores de aplicación de las formas de onda definidas por el IEEE Std C62.41-1991, garantizando la seguridad del operador.

La necesidad percibida para justificar la expansión de las dos formas de onda a un menú de cinco llevó al crecimiento del volumen de documentos, desde el estándar de 25 páginas IEEE Std 587-1980 a la de 111 páginas IEEE C62.41-1991.

Los datos adicionales recogidos hacia una actualización de la versión 1991 (que fue reafirmado en 1996) habría aumentado aún más el volumen del documento. En cambio, un nuevo enfoque se ha seleccionado para crear una "trilogía" por la separación de la información en tres documentos distintos, por lo que su uso sea más fácil de leer mientras se mantiene la credibilidad de las recomendaciones:

- ✓ IEEE Std C62.41.1 TM -2002: Práctica recomendada sobre el medio ambiente de las sobretensiones en circuitos de baja tensión de corriente alterna.
- ✓ IEEE Std C62.41.2 TM -2002: Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas en circuitos de baja tensión de corriente alterna.
- ✓ IEEE Std C62.45 TM -2002: Práctica recomendada en las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Nota: IEEE Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos invita a entender la trilogía como tres practicas recomendadas diferentes enfocadas a un mismo tema las cuales se complementa entre si haciendo un conjunto

2.1.4.1 IEEE Std C62.41.1 - 2002: Práctica recomendada sobre el medio ambiente de las sobretensiones en circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Esta es una guía que describe el medio ambiente de la sobretensión, sobrecorriente, y sobretensiones temporales (TOV) circuitos de alimentación de corriente alterna de baja tensión, es decir, hasta 1000 V de raíz cuadrada media (RMS). Este ámbito de aplicación *no incluye otros trastornos de alimentación, tales como muescas, bajo voltaje, y el ruido.*

Encierra una amplia base de datos con registros de eventos de sobretensión en el campo, simulaciones numéricas y de investigación de laboratorio, las inferencias sobre el medio ambiente de sobretensiones a partir del análisis de las fallas en el campo de equipos, y una discusión sobre la base de datos.

Los límites entre las diferentes categorías de ubicación han sido redefinidos como las transiciones en lugar de las fronteras. El concepto de las categorías de ubicación supone correctamente que una inductancia mayor reducirá la tensión actual en un SPD como su distancia de las sobretensiones de entrada del servicio eléctrico. Sin embargo, la idea anterior de las fronteras ha sido tomada a veces demasiado literalmente. Además, el tratamiento de los ambientes típicos de sobretensiones basados en ubicación del edificio, la impedancia de la línea de alimentación en la sobretensión y la longitud del cable fue ampliado. Anteriormente, todos los picos se suponían que ingresaban en el edificio a través de la entrada de servicio, o que había sido generado internamente. El escenario poco probable pero posible, de una descarga atmosférica que cae directamente sobre el edificio se incluyó.

En esta práctica se ve manifestada la preocupación por el costo de protección contra sobretensiones efectiva no mencionada directamente pero si registrado todo para logra mejorar este, mediante la aplicación de los dispositivos de protección adaptados a el medio ambiente y la sensibilidad de los equipos.

Otro punto a tener en cuenta es que las formas de onda mostradas reflejan las condiciones típicas del medio ambiente y ofrecen un menú en el que los diseñadores de equipos puede elegir para una aplicación dada.

La energía de amplitud y disposición de las formas de onda estándar son dependientes de la ubicación dentro de una instalación, es decir, las características de tensión y corriente de estas formas de onda son dictadas por categorías.

2.1.4.2 IEEE Std C62.41.2™ -2002: Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas en circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Mantiene el estado de la práctica recomendada de la documento de 1991 C62.41 antes de que fuera dividido en dos partes. En el lenguaje de la IEEE, una guía presenta información con ningún intento de orientar al lector en una dirección determinada. Por el contrario, una práctica recomendada lista de opciones posibles, pero la primera opción es la recomendada.

El alcance de esta práctica recomendada es caracterizar el entorno de sobretensiones en los lugares de los circuitos eléctricos de corriente alterna que se describen en el estándar IEEE C62.41.1-2002 por medio de formas de onda estándar y otros

parámetros. Los aumentos repentinos mencionados en esta práctica recomendada no exceden de la mitad del ciclo de la onda de corriente normal (frecuencia fundamental) de duración. Pueden ser eventos periódicos o al azar y pueden aparecer en cualquier combinación de línea, neutro o de tierra. Estos incluyen aumentos en la amplitud, duración o las tasas de cambio suficientes como para causar daños al equipo o malestar en funcionamiento.

2.1.4.3 Una práctica recomendada en las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna (IEEE Std C62.45™ - 2002).

IEEE C62.45 – 1992 fue actualizada en el año 2002 para abordar el uso predominante de los instrumentos digitales, este documento proporciona directrices adecuadas para la prueba de carga para la supervivencia de equipos, métodos de conexión de prueba, las definiciones de sobretensión de modo de acoplamiento, los requisitos de pruebas de seguridad, y las diversas teorías de las técnicas de supresión de sobretensiones. La intención es proporcionar antecedentes que pueden ayudar a determinar si el equipo o el circuito tienen capacidad de resistencia adecuada. Un objetivo importante del documento es llamar la atención sobre los aspectos de seguridad de las pruebas de picos. Las líneas de señal y los datos no se tratan en este documento.

El alcance de esta práctica recomendada es la realización de las pruebas de picos en los equipos eléctricos y electrónicos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna, en concreto con la prueba de las formas de onda recomienda definido en el estándar IEEE C62.41.2 -2002. Sin embargo, estas recomendaciones son aplicables a cualquier prueba de sobretensión, independientemente de los aumentos repentinos específico que pueda ser aplicado.

Estas normas son independientes de la norma IEC 61000-4-5, pero escritas con el beneficio de enlace entre los grupos de trabajo en las organizaciones de IEC e IEEE.

A continuación se realiza se presenta un resumen estructurado de la práctica recomendada IEEE Guía para sobretensiones en circuitos de baja tensión de alimentación de CA (IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002) como una referencia fundamental de lo realizado hasta la fecha de escritura del documento.

2.1.5 IEEE Guía para sobretensiones en circuitos de baja tensión de alimentación de CA como una referencia fundamental de lo realizado hasta la fecha de escritura del documento (IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002)^{18,19}

Esta guía se refiere principalmente a los circuitos de potencia de corriente alterna de tensión nominal hasta 277 V de línea a tierra, aunque algunas de las conclusiones ofrecidas podrían aplicarse a voltajes más altos y también a algunos sistemas de alimentación de CC.

Esta guía no busca implantar los parámetros de desempeño de equipos de protección sino que presentar lineamientos sobre los parámetros de aplicación, así como las acciones convenientes a ser implementadas por los usuarios para alcanzar la protección contra transitorios deseada, pretendiendo que el usuario pueda seleccionar entre diferentes dispositivos de protección contra transitorios de voltaje.

Aunque los datos se han registrado principalmente son de sistemas eléctricos de 120, 220/380, 277/480 V, las conclusiones generales pueden ser válidos para los sistemas de 600 V, pero se necesitan más datos para los voltajes más altos.

Si bien el objetivo principal de esta guía es describir el medio ambiente, un objetivo secundario es llevar a las pruebas estándar y la preparación de una guía de aplicación. Las pruebas estándar proporcionarán una evaluación realista de la capacidad de soportar sobretensiones de los equipos conectados a los circuitos de alimentación adecuada para la mayoría de las instalaciones.

Por necesidad, la compleja situación real debe ser simplificada para producir un conjunto manejable de normas. La correcta aplicación, o la coordinación de la capacidad del equipo y las características del medio ambiente, por supuesto, sigue siendo responsabilidad de los fabricantes y los usuarios.

Las sobretensiones en esta guía son los que superan el 2 por unidad (o el doble de la tensión de funcionamiento de pico) y con duraciones que van desde una fracción

¹⁸ Tomado de las practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

¹⁹ R. Tellez, Eugenio. practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002. En: Comportamiento Calidad de Energía. [Medio electrónico]. Pág. 25, 2010; [consultado 20/06/2012]. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/40871290/Distorsion-Armonica>>.

de un microsegundo a una milésima de segundo. Sobretensiones de menos de 2 por unidad no se incluyen aquí, ni los transitorios de larga duración como resultado de la operación de alimentación del equipo y los modos de fallo. Debido a que estas de baja amplitud y larga duración que surgen generalmente no son susceptibles de supresión por parte de los dispositivos de protección contra sobretensiones convencionales, requiriendo técnicas de protección diferentes a las discutidas en esta guía. Los transitorios considerados en el alcance están limitados a perturbaciones cuya duración es menor a medio ciclo de la forma de onda y que pueden aparecer en cualquier combinación entre los conductores de línea, neutro y tierra.

2.1.5.1 . El Origen de las sobretensiones.

Las sobretensiones que ocurren en los circuitos de potencia de bajo voltaje tienen dos principios: Los efectos de las descargas atmosféricas tanto directas como indirectas y los transitorios originados por las conmutaciones en el sistema.

2.1.5.1.1 *Transitorios Lightning (transitorios por descargas atmosféricas).*

Mediciones y cálculos de los efectos de las descargas atmosféricas han sido hechos para obtener datos sobre los niveles que se pueden producir, aunque el mecanismo exacto de cualquier aumento en particular es desconocido. Los principales mecanismos por los cuales los rayos producen sobretensiones son las siguientes:

- Descargas cercanas de un rayo ya sean a tierra o entre nubes, causa campos electromagnéticos que pueden inducir tensiones en los conductores de los circuitos primarios y secundarios.
- Descargas a tierra de un rayo producen que la corriente que fluye se acople a la impedancia de la malla de tierra, causando diferencias de voltaje a lo largo y ancho.
- La acción de apartarrayos de tipo abertura al limitar súbitamente el voltaje primario, se acopla a través de la capacitancia de un transformador y produce transitorios de voltaje adicionales a aquellos que se inducen por la misma acción del transformador.
- Descargas directas a circuitos de alta tensión (Circuito primario), inyectan altas corrientes que producen voltajes que o bien fluyen a través de la

resistencia a tierra y causan un cambio en el potencial de tierra o fluyen por los conductores primarios cuyos voltajes se acoplan a los circuitos secundarios por la capacitancia entre los devanados primario y secundario o por la inducción misma del transformador o por ambos efectos, apareciendo en los sistemas de bajo voltaje.

- Descargas directas a circuitos de baja tensión (circuito secundario), involucran muy altas corrientes y altos voltajes resultantes que pueden exceder la capacidad de soporte de los equipos.

2.1.5.1.2 *Transitorios de conmutación.*

Pueden asociarse con condiciones normales o anormales:

- Transitorios periódicos (muecas en el voltaje) ocurren cada ciclo durante la operación de convertidores electrónicos de potencia, debido a un corto circuito momentáneo entre fases cuya duración se ubican en el rango de 100 μ s (tiristores).
- Conmutaciones menores cercanas al punto de interés, tal como el apagado de utensilios en una casa (electrodomésticos) o el apagado de diversas cargas en el sistema individual.
- Reigniciones múltiples o rebotes durante la operación de conmutación (reencendidos), tal como sucede con los contactores de aire y los relevadores o interruptores de mercurio, que producen transitorios de voltaje cuyas formas de onda son complejas y sus amplitudes alcanzan valores de varias veces la magnitud del voltaje normal. El efecto más visible se encuentra generalmente en el lado de carga del interruptor y consiste en el dispositivo que se está cambiando, así como el dispositivo de conmutación. En el caso de que el dispositivo está encendido, la responsabilidad primordial de la protección recae en el fabricante o el usuario del dispositivo en cuestión. La presencia y la fuente de los transitorios pueden ser desconocidas para los usuarios de estos dispositivos. Esta situación potencialmente dañina se produce con suficiente frecuencia para llamar la atención.
- La Conmutación de bancos de capacitores para la compensación del factor de potencia cuando no hay rebotes, genera sobrevoltajes transitorios del orden de 1.5 a 2 veces la magnitud del voltaje normal, teniendo formas de onda de larga duración de varios cientos de microsegundos. Si durante la apertura del dispositivo que conmuta a

los capacitores ocurren múltiples rebotes, el sobre-voltaje transitorio puede exceder 3 veces la magnitud del voltaje normal e involucrar niveles de alta energía. Sin embargo, no se debe descartar

- Durante los libramientos de fallas que ocurren cuando dispositivos de protección de sobre-corriente de acción rápida tales como fusibles e interruptores que tienen tiempos de arqueo menores a $2 \mu\text{s}$ actúan, dejan energía inductiva atrapada del lado de carga que cuando se colapsa el campo, se generan altos voltajes.

2.1.5.2 Selección de transitorios representativos.

Las perturbaciones en sistemas de potencia de bajo tensión pueden ser originados por la alteración de los siguientes parámetros: Amplitud, duración, tiempo de elevación, frecuencia de oscilación, polaridad, capacidad de aporte de energía, densidad espectral de amplitud, posición con respecto a la fase de la forma de onda normal y frecuencia de ocurrencia.

Las mediciones obtenidas en estudios realizados exponen la extensa diversidad de transitorios que pueden suceder en sistemas de potencia de bajo tensión, por lo que se han elegido transitorios representativos que permitan realizar pruebas en laboratorio que sean reproducibles y reveladoras.

Una composición en la selección de la categoría de localización y la determinación del nivel de exposición facilitará el criterio para dimensionar la protección.

2.1.5.3 Caracterización del entorno.

El proceso para caracterizar un entorno involucra:

- ✓ Identificar si se trata de una instalación interior o exterior y las condiciones de operación de los circuitos.
 - ✓ Seleccionar las formas de onda de los transitorios representativos del entorno bajo estudio.
 - ✓ Determinar los factores de sensibilidad de los equipos, pudiendo ser:
1. La amplitud y duración del pico que pueden causar tanto errores en la operación como daño en los equipos.

2. La razón de cambio del voltaje que puede causar errores en la operación, aun cuando las amplitudes de los transitorios estén muy por debajo de los niveles que causan daño a los equipos.

2.1.5.4 Razón de ocurrencia de transitorios.

Tratar de predecir la frecuencia de ocurrencia de los transitorios para un sistema en particular es frecuentemente imposible. La frecuencia de ocurrencia de los transitorios está relacionada con el nivel, prevaleciendo mayormente los de menor nivel a los de mayor nivel.

Un pico de voltaje que se observa en un sistema de potencia puede ser el original o el residuo que resulta de la operación de algún dispositivo de protección del sistema.

La distribución de los niveles de los transitorios está influenciada por el mecanismo que lo produce y por el nivel de arqueo entre separaciones y por la operación de dispositivos de protección no identificados. Es importante reconocer el efecto del creciente número de dispositivos protectores de transitorios instalados dentro de los equipos y en los sistemas de distribución.

Los equipos exteriores están expuestos a niveles de arqueo altos, con valores típicos de 10 kV aunque es posible alcanzar hasta 20 kV. En la acometida, los equipos de medición pueden incluir protecciones entre fases y tierra con niveles de arqueo (sparkover) en el rango de 8 kV.

La mayor parte de los sistemas en interiores operan a voltajes de 127 V, 220V y 440V teniendo niveles de arqueo entre fases o entre fase y tierra típicos de 6 kV aun cuando en excepciones pueden llegar a ser mayores.

2.1.5.5 Frecuencia de ocurrencia y nivel de voltaje.

Los datos reportados por diversos estudios, muestran una reducción en la ocurrencia para crestas mayores, sin embargo el número absoluto de ocurrencias depende de cada sitio.

2.1.5.5.1 Nivel de exposición

El nivel de exposición está relacionado con los transitorios inducidos en el sistema de potencia, dependiendo de las condiciones del sistema y del entorno, estableciéndose tres rangos:

Exposición Baja

- Sistema en áreas con baja actividad de rayos.
- Poca carga.
- Poca conmutación de capacitores.

Exposición Media

- Sistema en áreas con actividad de rayos media y alta.
- Conmutaciones significativas.

Exposición Alta

- Aquellas instalaciones excepcionales que tienen exposiciones a transitorios mayores que las definidas en las categorías baja y media.

Las condiciones más severas resultan de altas exposiciones a rayos o por transitorios severos ocasionados por conmutaciones.

La frecuencia de ocurrencia y el nivel de exposición a rayos está influenciada por los niveles isocerámicos y densidades de rayos.

Los niveles de los transitorios son influenciados por las prácticas de puesta a tierra y la disposición del sistema de distribución tal como líneas aéreas abiertas, líneas áreas con conductores torcidos y cables.

La ocurrencia y el nivel de los transitorios por conmutaciones dependen del modo de operación del suministrador de la energía, tal como conmutación de bancos de capacitores o de circuitos.

Los transitorios generados por conmutación de cargas internas dependen de la naturaleza e impedancia de las cargas adyacentes, así como de su distancia eléctrica al punto de interés, más que de la ubicación geográfica o prácticas del suministrador.

El arqueo (sparkover) de los dispositivos de cableado indica que mientras que la capacidad de soporte puede ser suficiente para asegurar que un dispositivo interior

sobreviva, una capacidad de soporte de 10 kV o mayor puede ser requerida para exteriores.

2.2.2.3. Formas de onda recomendadas.

Los diversos sucesos reportados en diferentes estudios se resumen en tres tipos de transitorios.

- ✓ Ondas oscilatorias (ring wave) Las de mayor frecuencia tienen una capacidad limitada de energía pero presentan altos voltajes, mientras que los de menor frecuencia tienen mayor capacidad de energía pero voltajes de menor amplitud.
- ✓ Transitorios de alta energía de diversas formas de onda, asociados con descargas atmosféricas cercanas, operación de fusibles o conmutación de capacitores.
- ✓ Ráfagas de transitorios muy rápidas (IEC 61000-4-4), asociadas a conmutaciones de cargas locales de baja energía pero capaces de producir interferencia o bloqueo de la operación de equipo sensible.

2.1.5.5.2 Ondas oscilatorias.

Las mediciones en campo y en laboratorio indican que la mayor parte de los transitorios de voltaje que se propagan en los sistemas de bajo voltaje en instalaciones interiores tienen formas de onda oscilatorias.

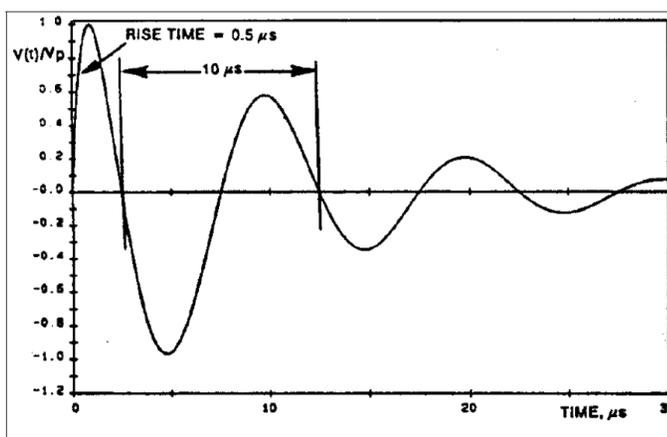


Figura 9. Muestra la forma de onda oscilatoria.^{20 21}.

Cuando un pico impacta en un sistema, aun cuando originalmente sea unidireccional, excita las frecuencias naturales de resonancia del sistema, generándose transitorios de diferentes amplitudes y formas de onda, teniendo estos transitorios frecuencias de oscilación que se ubican en el rango de 1 kHz, asociadas a conmutación de capacitores, a 500 kHz causadas principalmente por oscilaciones locales.

La representación de este tipo de transitorios fue presentada en la edición de 1980 de la norma IEEE C62.41 habiendo definido la onda oscilatoria con un tiempo de crecimiento de $0.5\mu\text{s}$ y frecuencia de 100 kHz, siendo cada pico de 60% de la amplitud del pico precedente de polaridad opuesta.

Ya que es necesario representar estas situaciones con más de una forma de onda, en la versión de la norma IEEE C62.41-1991 se propone en forma adicional una forma de onda oscilante de menor frecuencia.

Las razones de crecimiento rápidas en el frente de la onda oscilante, producen fallas a ciertos dispositivos semiconductores sensibles a altos dv/dt , particularmente cuando están en la transición de los estados de conducción, dependiendo del momento en que ocurre el pico con relación a la frecuencia de la línea.

²⁰ Tomado de las practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

²¹ R. Tellez, Eugenio. practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002. En: Comportamiento Calidad de Energía. [Medio electrónico]. Pág. 25, 2010; [consultado 20/06/2012]. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/40871290/Distorsion-Armonica>>.

La amplitud del voltaje pico puede producir la ruptura del aislamiento en equipos y componentes conectados, aun si la energía involucrada en la onda de 100 kHz es pequeña.

2.1.5.5.3 *Transitorios de alta energía*

Experiencias de campo muestran que diversos dispositivos de protección contra transitorios, con capacidades limitadas de manejo de corriente e instalados en la acometida han fallado repetidamente, mientras que cuando el mismo dispositivo es instalado adentro de la instalación opera adecuadamente.

De los factores de energía e impedancia de la fuente, llega a ser aparente que las ondas oscilatorias de 100 kHz no depositan suficiente energía en los dispositivos de protección contra transitorios para producir las fallas observadas.

Diferentes tipos de eventos pueden dar origen a transitorios de alta energía y sus consecuentes daños:

- ✓ Transitorios causados por rayos en sistemas con líneas de distribución aéreas son representados por un pico de voltaje de $1.2/50\mu\text{s}$ y un pico de corriente de $8/20\mu\text{s}$ siendo descrito como impulso en el documento de la IEC 99 apartarayos y como onda combinada en la norma IEEE C62.41.1.1- 2002.

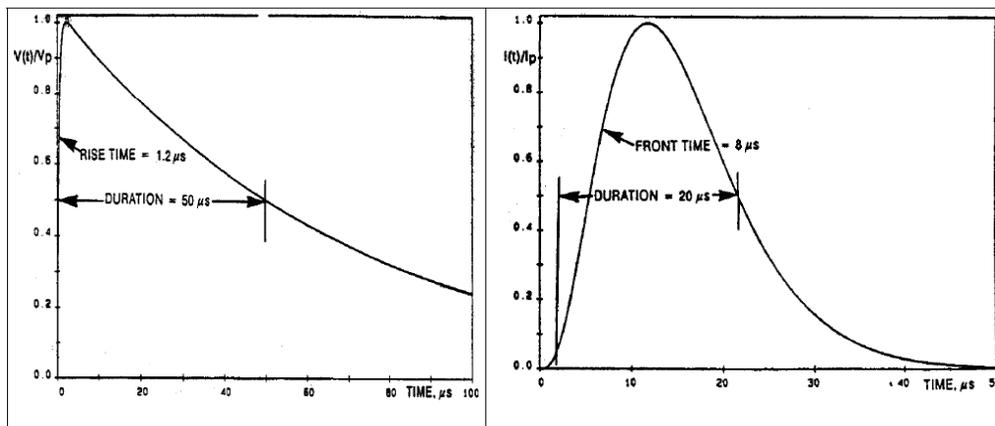


Figura 10. Formas de ondas que muestra apropiada para representar el ambiente en las acometidas de construcciones conectadas a sistemas de distribución con líneas aéreas.^{22, 23}

²² Tomado de las practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1TM-2002 /IEEE Std C62.41.2TM-2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Estas formas de onda son una simplificación apropiada del ambiente cercano en las acometidas de construcciones conectadas a sistemas de distribución con líneas aéreas, teniendo una capacidad substancial de energía para provocar esfuerzos al equipo conectado.

Debido al tiempo frontal corto del pico de corriente de $8 \mu\text{s}$ no se propagará muy lejos en la instalación. La caída de voltaje asociada con la propagación de un pico de corriente de alta amplitud y por lo tanto de alto di/dt en la impedancia inductiva del cableado requiere de un voltaje alto en la acometida que lo impulse (sostenga) suficiente para causar arcos en las separaciones.

- ✓ Transitorios causados por rayos originados en líneas aéreas y que viajan por cable subterráneo involucran mayores duraciones y en longitudes considerables de cables tienen frentes de onda con pendientes menores que las originales. La amplitud del pico iniciador refleja la operación de un aparta-rayos en la transición aérea subterránea.
- ✓ Transitorios generados por la operación de fusibles, involucrando energía atrapada en la inductancia del sistema de potencia tienen características unidireccionales con duraciones del orden de cientos de microsegundos que dependen de la inductancia del cable y del transformador que alimenta a la falla que esta siendo librada por los fusibles.
- ✓ Transitorios generados por la conmutación de bancos de capacitores para la compensación del factor de potencia involucran oscilaciones amortiguadas con frecuencias de 300 Hz a 5 kHz y duraciones de máximas de unos cuantos milisegundos. Desde el punto de vista de intercambio de energía, una oscilación tan larga puede simplificarse como una envolvente de la oscilación teniendo un orden de magnitud y duración similar a los transitorios generados por la operación de fusibles.

Los transitorios de menor frecuencia contienen mayor energía, pudiendo llegar a ser excesiva para un dispositivo protector de transitorios que trata de efectuar la sujeción del voltaje particularmente si el interruptor debe restaurar mientras esta abriendo y existe poca impedancia entre él y el protector de transitorios.

²³ R. Tellez, Eugenio. practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002. En: Comportamiento Calidad de Energía. [Medio electrónico]. Pág. 25, 2010; [consultado 20/06/2012]. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/40871290/Distorsion-Armonica>>.

Los transitorios descritos en B), C) y D) tienen amplitudes máximas relativas al voltaje del sistema en contraste con el descrito en A).

Otros tipos de forma de onda han sido especificados como requerimientos para protección de transitorios tales como:

Frecuencia o Duración	Tipo	Aplicación	Norma
10/1000 μ s	Unidireccional	Control de procesos y comunicaciones	IEEE Std 518-1982
10/300 μ s	Unidireccional	Compatibilidad Electromagnética	IEC 61000-4-4
10/1000 μ s	Unidireccional	Específica	IEEE C62.41.1. -2002
5 kHz	Oscilatoria	Específica	IEEE C62.41.1. -2002

Tabla 10. Formas de ondas adicionales propuestas desde la actualización IEEE C62.41 – 1991.^{24,25}

Para ondas largas en cables de sistemas de potencia con tiempos de viaje mayores que el tiempo del frente del pico, la impedancia de la fuente será la impedancia característica del cable, ubicándose típicamente entre 10 Ω y 100 Ω , sin embargo para líneas aéreas abiertas los valores serán mayores.

Si los tiempos de viaje son menores que el tiempo del frente del pico, la impedancia inductiva prevalecerá y su valor puede ser solo una fracción de ohm.

2.1.5.5.4 Transitorios rápidos (IEC 61000-4-4).

La apertura de circuitos por interruptores por separación de aire, tales como relevadores o contactores, producen una sucesión de separaciones y reigniciones que generan ráfagas de transitorios de oscilaciones rápidas en los circuitos que son conmutados, relacionándose con ondas cuyos tiempos de elevación son de 5ns y duraciones de 50ns denominadas transitorios eléctricos rápidos (*EFT*).

La duración de este transitorio es corta comparada con el tiempo de viaje en el cableado (50ns es el tiempo requerido para viajar 10 m), por lo que los conceptos de

²⁴ Tomado de las practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1 TM -2002 /IEEE Std C62.41.2 TM -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

²⁵ R. Tellez, Eugenio. practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1 TM -2002 /IEEE Std C62.41.2 TM -2002. En: Comportamiento Calidad de Energía. [Medio electrónico]. Pág. 25, 2010; [consultado 20/06/2012]. Disponible en: <<http://es.scribd.com/doc/40871290/Distorsion-Armonica>>.

líneas de transmisión son aplicables para describir su propagación en el cableado de edificaciones y grandes equipos.

Una selección significativa y rentable de las formas de onda representativa para evaluar la inmunidad contra sobretensiones implica un análisis de riesgo que está fuera del alcance de esta práctica recomendada y, de hecho, es la prerrogativa y el deber de los fabricantes de equipos. La situación se puede simplificar considerando dos casos, la participación de tensiones muy diferentes, que se conoce como Escenarios en esta práctica recomendada IEEE Std C62.41.2™ -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Escenario I: sobretensiones que incide sobre la estructura del cableado exterior. Estos aumentos incluyen fenómenos de rayos (que no sean descargas directas en el sistema) y de conmutación en las operaciones de los sistemas normales o anormales de alimentación. Los datos específicos sobre los aumentos repentinos relacionados con las interacciones del sistema no están incluidos.

En el caso de que un rayo no involucrar directamente a la estructura, dos mecanismos de acoplamiento diferentes se producen:

-Sobretensiones acoplada en el sistema de alimentación, ya sea directa o indirectamente, y que incide en la entrada de servicio del edificio de interés, tales como una descarga directa fuera del sistema o en edificios adyacentes suministrados desde el transformador utilización mismo voltaje.

-Los campos eléctricos y magnéticos que penetra en la estructura y el acoplamiento inductivo en el cableado del edificio.

Escenario II: sobretensiones como resultado de un rayo directo a la estructura o de descarga a la tierra muy cerca de la estructura. Estos incluyen los aumentos repentinos acoplado a los circuitos de alimentación de corriente alterna por el acoplamiento resistivo, por el acoplamiento inductivo, o por la operación de un SPD y los aumentos repentinos en los bucles del circuito acoplado como la subida de potencial de tierra local debido a que la corriente de la descarga atmosférica se dispersa entre las rutas de acceso disponibles a la tierra.

2.1.5.6 Categorías de localización.

Se han definido tres categorías por localización de circuitos que representan la gran mayoría de ubicaciones, desde aquellas cercanas a la acometida hasta las más remotas.

Para los transitorios originados en la alimentación del suministrador, la impedancia de la fuente puede considerarse como constante, mientras que la impedancia serie se incrementa con la distancia hasta la carga, restringiendo la razón de crecimiento de la corriente del transitorio.

La siguiente figura muestra la aplicación de las tres categorías de localización en un sistema de potencia que están relacionada con la impedancia y por lo tanto con la corriente del transitorio.

En la Categoría C se está expuesto a transitorios de mayor nivel, esperando voltajes que excedan los 10 kV y corrientes de descarga de 10 kA y mayores. La experiencia en campo muestra que la aplicación por años de aparta-rayos con capacidades de 10 kA, 4/10 μ s han demostrado su efectividad para desviar la mayor parte de las corrientes asociadas con este entorno. Aun cuando descargas directas de rayos en el punto de interés producen voltajes y corrientes mayores.

La mayoría de las aplicaciones de protección involucran entornos interiores distantes de la conexión de entrada de servicio y de las condiciones de la categoría C, por lo que no deberá aplicarse indiscriminadamente como una especificación para todos los equipos.

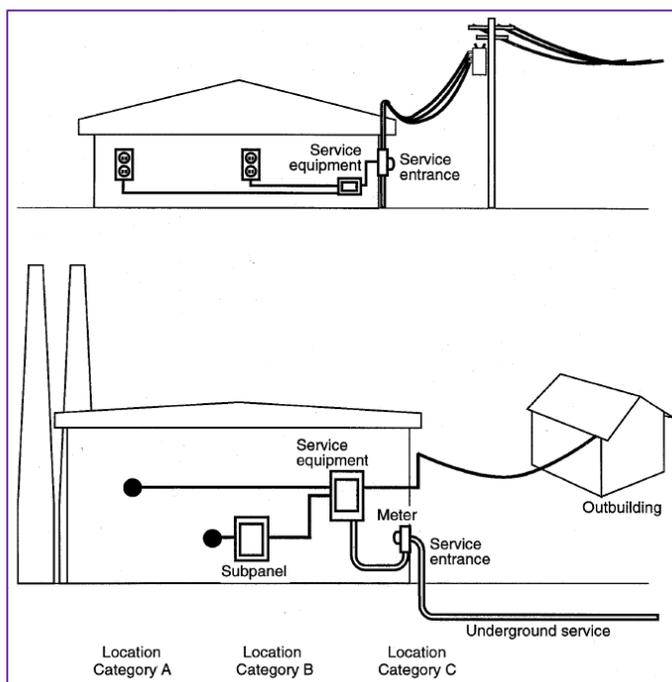


Figura 11. Muestra El concepto de las categorías de ubicación como un enfoque de simplificación.²⁶

NOTA.

No puede haber diferencias en la configuración y la distancia entre el medidor de ingresos y el equipo de servicio. Este esquema es sólo un ejemplo para ilustrar el concepto de las categorías de ubicación. (Los estados de NEC en el artículo 230-70. El servicio de los medios de desconexión debe instalarse en un lugar fácilmente accesible tanto en el exterior de un edificio o estructura, o en el interior punto más cercano de entrada de los conductores de servicio).

2.1.5.7 Consecuencia de los transitorios.

Cuando las consecuencias de una falla solo representan una pérdida económica, puede ser apropiado valorar el costo de la protección contra la posibilidad de una falla causada por un transitorio de alta energía que puede ocurrir, tal como las causadas por rayos o por múltiples recierres al des-energizar bancos de capacitores o por frecuentes interrupciones en el suministro de la energía.

Las consecuencias que los transitorios pueden causar se pueden clasificar en:

²⁶ Tomado de la práctica recomendada IEEE Std C62.41.2™ -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

- 1) Los equipos pueden estar sujetos a transitorios cuyos niveles no causan un daño visible u operacional, pero puede estar sucediendo una degradación en sus componentes siendo un punto latente de falla.
- 2) Fallas en el procesamiento de información que puede ser recuperado por software o que puede requerir la intervención del personal para restaurar la operación.
- 3) Falla del equipo o de sus componentes, requiriendo su reemplazo y ocasionando la indisponibilidad del equipo.
- 4) Daño consecuente causado por un equipo que ha sido afectado por un transitorio y que sus errores de procesamiento o daño provocan que otros equipos fallen o queden indispuestos.

2.1.5.8 Práctica de campo.

Se obtuvo una reducción de 100:1 en las razones de falla de algunos motores de reloj cuando el voltaje de soporte se elevó de 2 000 V a 6 000 V.

Se ha reportado fallas ocasionales en MOV's de 20 mm de diámetro o menores instalados en las acometidas, mientras que cuando se instalan en puntos remotos su desempeño es adecuado, pudiéndose estimar la capacidad de disposición de energía de los transitorios de acuerdo a la localización dentro de la instalación.

En las líneas de distribución aéreas generalmente se presenta transitorios cuya amplitud se ubica entre 5 kV y 20 kV, mientras que en ubicaciones dentro de la edificación pueden ser limitadas por los arcos entre espacios o por las características de propagación del cableado.

El cableado local de distribución de energía es predominantemente inductivo y resistivo a las frecuencias de interés (60 Hz a 3 kHz), mientras que a frecuencias de 1 Mhz y mayores predomina la inductiva y capacitiva, pudiendo ser usado ventajosamente para atenuar ruido de voltaje no deseado de alta frecuencia y transitorios de tiempos de elevación cortos.

Transitorios con tiempos de elevación de ms y frecuencias de oscilación en el rango de kHz no se atenúan rápidamente por los transformadores de distribución y cableado

Al seleccionar los dispositivos de protección se debe considerar el modo de acoplamiento del transitorio al sistema pudiendo ser:

L-N : Fase a neutro para sistemas monofásicos y trifásicos.

L-L : Fase a fase para sistemas monofásicos y trifásicos.

L-G: Fase al conductor de puesta a tierra del equipo en sus terminales de utilización.

N-G: Neutro al conductor de puesta a tierra del equipo en sus terminales de utilización.

Una combinación en la selección de la categoría de localización y la determinación del nivel de exposición proporcionará el criterio para dimensionar la protección.

2.1.5.9 Valores pico de formas de onda.

Las formas de onda de transitorios se aplican de acuerdo a la categoría de localización siendo la onda oscilatoria de 100 kHz y la onda combinada recomendadas para el diseño básico y pruebas. Las formas de onda adicionales solo deben ser incluidas cuando existe evidencia suficiente que garantice su uso.

Categoría de localización	100 kHz Onda Oscilatoria	Onda Combinada	5/50 ns Ráfaga EFT	Onda 10/1000 μ s	5kHz Onda Oscilatoria
A	Estándar	No	Adicional	Adicional	Adicional
B	Estándar	Estándar	Adicional	Adicional	Adicional
C	No	Estándar	No	Adicional	Adicional

*Tabla 11. Resumen de la aplicación de las formas de onda estándar y adicionales de sobretensiones de pruebas para las categorías Ubicación A, B, y C.*²⁷

Onda oscilatoria: La relación nominal del voltaje pico de circuito abierto con la corriente pico de corto circuito definen la impedancia efectiva, especificándose 12 Ω para simular los entornos de la categoría de localización B y 30 Ω para la categoría de localización A.

Onda combinada: La relación nominal del voltaje pico de circuito abierto con la corriente pico de corto circuito es de 2 Ω para todos los niveles de severidad.

²⁷ Tomado de la práctica recomendada IEEE Std C62.41.2™ -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

2.1.5.9.1 Onda oscilatoria estándar 0.5 μ s-100 kHz.

Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización A y B para exposiciones Baja, Media y Alta.

Modos monofásicos: L-N, L-G.

Modos polifásicos: L-L, L-G.

Categoría de Localización	Exposición del Sistema	Voltaje kV	Corriente kA	Impedancia Efectiva Ω
A1	Bajo	2	0.07	30
A2	Medio	4	0.13	30
A3	Alto	6	0.2	30
B1	Bajo	2	0.17	12
B2	Medio	4	0.33	12
B3	Alto	6	0.5	12

Tabla 12. Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización A y B para exposiciones Baja, Media y Alta para la forma de onda oscilatoria 0.5 μ s-100 kHz.²⁸.

En la practicas recomendadas IEEE Std C62.41.2™ -2002, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna no se presentan niveles de exposición bajo, medio y alto, por ende se tiene como valores constante el valor alto de la *tabla 13* y *tabla 14*, sin embargo muchos fabricantes y usuarios aun trabajan con esta al tener rango más críticos por tal razón se presenta en este documento.

La onda oscilatoria no se considera para la categoría de localización C.

2.1.5.9.2 Onda combinada estándar 1.2/50 μ s-8/20 μ s.

Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización B y C para exposiciones Baja, Media y Alta.

Modos monofásicos: L-N, L-G.

Modos polifásicos: L-L, L-N, L-G.

Categoría de	Exposición del	Voltaje	Corriente	Impedancia
--------------	----------------	---------	-----------	------------

²⁸ Tomado de la práctica recomendada IEEE C62.41-1991, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Localización	Sistema	kV	kA	Efectiva Ω
B1	Bajo	2	0.07	30
B2	Medio	4	0.13	30
B3	Alto	6	0.2	30
C1	Bajo	6	0.17	12
C2	Medio	10	0.33	12
C3	Alto	20	0.5	12

Tabla 13. Voltajes y Corrientes Transitorias Esperadas en Categorías de Localización B y C para exposiciones Baja, Media y Alta para la forma de Onda combinada estándar 1.2/50 μ s-8/20 μ s.²⁹.

Las tablas muestran valores propuestos como una guía para la selección de parámetros apropiados para el diseño o pruebas sin que se consideren como requerimientos obligatorios, debiendo las partes involucradas seleccionar los valores pico.

La literatura describe la frecuencia de ocurrencia contra la amplitud de la descarga directa de rayos desde niveles bajos de unos cuantos kilo-amperes, hasta valores de 20 kA y en ocasiones se encuentran valores excepcionales que exceden 100 kA.

La descarga de un rayo que termina en los conductores de una línea aérea de un sistema de distribución secundario, buscará un camino a tierra que involucra más de un punto de puesta a tierra del sistema.

La *figura 11* ilustra esta situación, en el que se asume que una descarga de un rayo de 100 kA, termina en los conductores primarios y el apartarayos desvía esta corriente a los diversos conductores puestos a tierra, repartiéndose dicha corriente de acuerdo a la admitancia de cada trayectoria de la combinación paralela. Los valores relativos mostrados son arbitrarios, sirviendo únicamente para ilustrar el concepto.

²⁹ Tomado de la práctica recomendada IEEE C62.41-1991, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

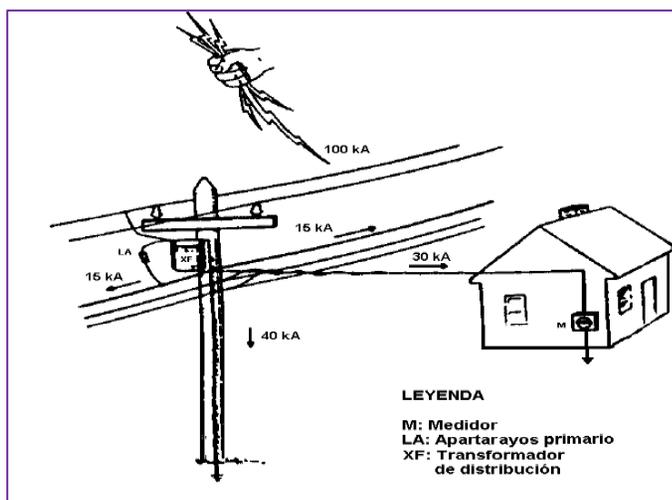


Figura 12. Muestra una descarga atmosférica de 100 kA los conductores primarios donde el apartarayos desvía esta corriente a los diversos conductores puestos a tierra.³⁰

En la descripción sobre el entorno de los rayos presentada en 1972 por Cianos y Pierce, indican que solo el 5% de todas las descargas a tierra, exceden una corriente pico de 100 kA, siendo la frecuencia de ocurrencia dependiente de la localización geográfica y el punto de terminación depende de las estructuras locales.

Martzloff y Crouch realizaron simulaciones en laboratorio para determinar el efecto que la corriente de tal rayo tiene cuando fluye únicamente en el conductor de puesta a tierra, reportando que induce voltajes transitorios en los conductores adyacentes de las fases.

Con la instalación en la entrada de servicio del edificio de un apartarayo secundario con capacidad de 10 kA, se espera que maneje la corriente de los conductores de fase al circuito de tierra, además de proporcionar una sujeción del voltaje entre los conductores de línea a tierra para los circuitos derivados. Sin embargo, la descarga directa en los conductores de fase que alimentan el servicio y que es raro que ocurra, producirá corrientes más elevadas.

Como complemento se presentan las aplicaciones típicas según los niveles de exposición y categoría de localización dados en la práctica recomendada IEEE C62.41-1991, Práctica recomendada en la caracterización de las sobretensiones

³⁰ R. Tellez, Eugenio. practicas recomendadas IEEE Std C62.41.1™ -2002 /IEEE Std C62.41.2™ -2002. En: Comportamiento Calidad de Energía. [Medio electrónico]. Pág. 25, 2010; [consultado 20/06/2012]. Disponible en: <http://es.scribd.com/doc/40871290/Distorsion-Armonica>.

repentinas y las pruebas de voltaje para los equipos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna.

Categoría IEEE	Nivel de Exposición	Aplicaciones Típicas
A (Tomacorrientes)	Bajo	Paneles con protección de corriente hacia arriba, paneles para cargas electrónicas sensibles.
	Medio	Ambiente comercial liviano o residencial pesado, con presencia no frecuente de fluctuaciones de voltaje transitorias y de gran amplitud (rayos), el suministro del proveedor de energía eléctrica.
	Alto	Ambientes comerciales o industriales ligeros y pesados, con gran presencia de fluctuaciones de voltaje transitorias y de gran amplitud (rayos), el suministro del proveedor de energía eléctrica o generados por variaciones transitorias del consumo interno de corriente
B (Panel de Distribución Eléctrica)	Bajo	Paneles con protección de corriente hacia arriba, paneles para cargas electrónicas sensibles.
	Medio	Paneles altamente cargados con equipos electrónicos sensibles, paneles con combinación de cargas sucias y sensibles, paneles sin protección de corriente hacia arriba, conducto para cargas sensibles, barra colectora para varios pisos con cargas sensibles.
	Alto	Paneles de distribución grandes, paneles de distribución sin entrada de servicio, equipo pesado cerca de entradas no protegidas, paneles de velocidades variables, centros de control de motor sin entradas de servicio con mecanismos PLC, sistemas de control electrónico y monitoreo electrónico.
C (Entrada de Servicio o Acometida)	Bajo	Paneles de distribución para techos con alta incidencia de rayos, paneles de distribución extremadamente grandes
	Medio	Entradas de servicio de amperaje moderado y más bajo, entradas de servicio cerca de subestaciones de servicios públicos, entradas de

		servicio en red con grandes industriales, entradas de servicio lejos de redes y servicios públicos.
	Alto	Ambientes de cero tolerancia, entradas de servicio de la más alta capacidad de amperaje, entradas de servicio en áreas de alta ocurrencia de rayos.

Tabla 14. Aplicaciones típicas según los niveles de exposición dados en la IEEE C62.41-1991.

2.1.6 IEEE Práctica Recomendada para la prueba de carga para los equipos conectados a baja tensión (1000 V y menos) Circuitos de alimentación de CA.

Esta práctica recomendada es el resultado de diez años de uso como una guía, y que incorpora adiciones de poca importancia o actualizaciones del documento original de 1987, que fue revisado en 1992. Estas versiones anteriores fueron publicados de forma independiente, y no al mismo tiempo que su compañero deseado, IEEE Std C62.41-1991, con el resultado de que un "catch-up", la situación se ha creado, ya que cada documento fue actualizado por separado.

Con la aprobación de la Comisión de Protección contra sobretensiones, dispositivos, el compañero de IEEE Std C62.41-1991 se dividió en dos documentos separados, IEEE Std C62.41.1-2002 y IEEE Std C62.41.2-2002. Junto con la práctica actual recomienda, los dos IEEE Std C62.41.1-2002 y estándar IEEE C62.41.2-2002 presenta una "trilogía" en relación con la ocurrencia, la caracterización y ensayo de los aumentos repentinos en circuitos de baja tensión de corriente alterna, que se publicó al mismo tiempo y así evitar las ambigüedades de las actualizaciones anteriores para ponerse al día.

2.1.6.1 Ámbito de aplicación.

El alcance de esta práctica recomendada es la realización de las pruebas de picos en los equipos eléctricos y electrónicos conectados a circuitos de baja tensión de corriente alterna, utilizando específicamente la recomendada formas de onda de prueba definida en el estándar IEEE C62.41.2 -2002. No obstante, estas recomendaciones son aplicables a cualquier prueba de sobretensiones, independientemente de la específica sobretensiones que se puede aplicar.

2.1.6.2 Propósito.

Esta práctica recomendada es el tercer documento de una trilogía de tres estándares de la IEEE que abordan sobretensiones en los circuitos de baja tensión de corriente alterna, se centra en los procedimientos de prueba, utilizando formas de onda representativa sobretensiones desarrollado sobre la base de los otros dos documentos de la trilogía. No hay modelos específicos que sean representativos de todos los entornos de sobretensión, las complejidades del mundo real deben simplificarse para producir un conjunto manejable de las pruebas estándares de sobrevoltaje. Para este fin, un esquema de clasificación de entorno se presenta en la norma IEEE C62.41.2-2002. Esta clasificación constituye una base práctica para la selección de formas de onda y amplitudes de picos de voltaje y corriente de sobretensión los que se pueden aplicar para evaluar el aumento de la capacidad de soportar el nivel de los equipos conectados a estos circuitos de potencia. Es importante reconocer que una adecuada coordinación de la capacidad del equipo y las características del medio ambiente se requiere.

Independientemente de la especificación en particular de las sobretensiones, el equipo conectado al sistema de energía tiene que ser capaz de un funcionamiento satisfactorio, o al menos la supervivencia, en estas sobretensiones o corrientes de sobretensión, con o sin protección adicional como sea el caso. La asignación de nivel de resistencia sigue siendo la prerrogativa y la responsabilidad de los usuarios de este documento. Las pruebas de picos es demostrar esta capacidad. Las pruebas de picos en las interfaces de señales o datos no se incluye en el ámbito de aplicación de esta práctica recomendada, pero no debe pasarse por alto en la evaluación completa de equipos específicos.

2.1.6.3 Planificación de las pruebas de picos: los objetivos básicos.

Esta cláusula resume los objetivos básicos a tener en cuenta para la planificación de las pruebas de picos.

Aunque el alcance de esta práctica recomendada se refiere únicamente al puerto de alimentación de los equipos, la aplicación prevista y varios puertos de los equipos bajo prueba (*EUT*) también debe ser considerado.

Seis puertos mediante los cuales las perturbaciones electromagnéticas pueden ser acoplados en los equipos, pueden ser identificados como sigue:

-Recinto portuario (radiadas solamente).

- Puerto de alimentación de CA.
- Puerto de alimentación de CC.
- Puertos de Proceso de medición y control.
- Puerto de Señal.
- Puerto de Tierra.

Las perturbaciones acopladas por radiación están fuera del ámbito de la práctica, se excluye el tema de la señal y las líneas de datos y, en consecuencia, el puerto de alimentación de CC. Sin embargo, el puerto sexto, conocido como puerto de tierra (tierra es el término utilizado por el IEC, y la tierra, el término que se utiliza en los EE.UU.), deben ser mencionados. La cuestión es que los equipos conectados a los diferentes sistemas pueden estar expuestos a tensiones de referencia diferentes a través de su conexión independiente a los diferentes sistemas. (En muchos sistemas, el punto de referencia es un conductor de puesta a tierra que, durante un evento de sobretensiones, experimenta cambios de potencial.) Así para una evaluación completa del rendimiento de los equipos en condiciones sobretensiones requiere el reconocimiento de la aparición de picos de tensión en todos los puertos.

2.1.6.4 Sobretensiones medio ambiente.

La prueba de picos se realiza generalmente para determinar la capacidad de resistencia de sobretensiones de los equipos específicos que serán expuestos a entornos con sobretensiones conocidas o desconocidas. Aunque los procedimientos de ensayo descritos en esta práctica recomendada debe ser de interés para la mayoría de las pruebas sobretensiones, la principal preocupación aquí es la subida de tensión originada por conmutación y la inducida por las descargas atmosféricas.

2.1.6.5 Tipos de pruebas.

Hay cuatro tipos de pruebas se identifican con su propósito y las partes interesadas, de la siguiente manera:

Pruebas de diseño son realizadas por un fabricante de equipos para establecer o demostrar a los demás márgenes de diseño, y para optimizar el diseño. Estas pruebas pueden implicar presionando a los esfuerzos a los límites hasta un fallo que se observa.

Pruebas de calificación se llevan a cabo por el fabricante, el comprador o el laboratorio de pruebas independiente para demostrar el cumplimiento con las especificaciones. Estas pruebas generalmente se limitan a un criterio de paso a fallar,

pero son más amplias que son las pruebas llevadas a cabo sobre una base rutinaria en los productos de producción.

Las pruebas de producción se llevan a cabo por un fabricante de equipos para la verificación de la conformidad y la coherencia del proceso de producción. Estas pruebas generalmente implican algún tipo de evaluación estadística.

Los exámenes de diagnóstico se llevan a cabo por el fabricante o el usuario para la investigación de las dificultades encontradas en el servicio. Estas pruebas generalmente implican los intentos de reproducción en laboratorio de los modos de falla observados en el campo, seguido por la aplicación de la misma prueba en el equipo que ha sido rediseñado y dotado de adaptación protección.

Antes de realizar estas pruebas en una EUT, los criterios de aceptación deben definirse de acuerdo con las consideraciones de la Figura 1, como el propósito de la prueba y el resultado esperado.

2.1.6.6 Resultados y consecuencias de la prueba.

La prueba sirve para determinar el dispositivo de protección contra sobretensiones y prevenir inconvenientes en la operación del equipo bajo prueba. Por lo tanto, un tratado sobre las pruebas de picos debe incluir tema relativo a la evaluación de los resultados de la prueba. Cualquier prueba de sobretensión dada producirá uno de los cuatro resultados:

- Malestar (susceptibilidad).
- Daños (vulnerabilidad).
- No hay cambio observado.
- Una de las consecuencias imprevistas en otras partes del entorno de equipo.

El último resultado en realidad implica la consideración de las circunstancias externas se pudo considerar irrelevante para el alcance de las pruebas de picos en el laboratorio. Dejando a un lado cualquier consideración de las consecuencias imprevistas sobre esa base sería un error grave.

Dependiendo de la naturaleza y la función del Equipo sometido a Prueba, siete diferentes resultados de una prueba de sobrecarga debe ser evaluado cada vez que los resultados directos locales se destacan:

- Resultado 1: No hay respuesta aparente en el Equipo sometido una prueba de trastorno -no se daño.

- Resultado 2: malestar temporal del Equipo sometido a una prueba de operación.

- Resultado 3: Malestar con el circuito de disparo de salida del Equipo sometido a prueba.

- Resultado 4:descarga disruptiva sin aparente daño permanente.

a) En ningún seguimiento en curso o con un auto-compensación siga vigente, lo que podría parecer un hecho benigno.

b) Con la corriente residual resultante en el funcionamiento de un dispositivo de protección contra sobrecorrientes (fusible o interruptor), un suceso similar a los resultados (3).

- Resultado 5: la degradación del aislamiento o la avería debido a las descargas parciales a través de las superficies o en aislamiento sólido, o ambas cosas.

- Resultado 6: La degradación de los varistores de óxido de metal u otros tipos de elementos de supresión de sobretensiones.

- Resultado 7: Clasificación de aislamiento o de daños a los componentes permanente que requiere el reemplazo o reparación.

El primer resultado (sin molestias o daños) pueden representar un éxito desde el punto de vista de la aceptación, pero proporciona una información incompleta porque el margen de diseño actual no se determina hasta que las pruebas adicionales, a un mayor estrés, se llevan a cabo. También es posible que un Equipo sometido a una prueba de malestar puede producirse sólo en rara coincidencia del pico con una transición de reloj, lo que requeriría un gran número de sobretensiones para ser detectado.

Los dos siguientes resultados (trastornos) se refiere principalmente a los circuitos de control o datos, y que están relacionadas con la susceptibilidad de los equipos. El ruido eléctrico necesario para su producción puede ser bajo, de hecho, bajo nivel de ruido puede ser suficiente para alterar los circuitos sensibles. El énfasis en esta práctica recomendada, sin embargo, es en sobretensiones, generalmente implicando niveles de tensión de al menos el doble de la tensión normal del sistema.

El cuarto resultado (descarga disruptiva) podría implicar tanto el control y circuitos de alimentación, y se espera que ocurran en los niveles sobretensiones significativamente por encima de las tensiones de circuitos normales. Mientras no daño permanente o el seguimiento de aislamiento se produce como resultado de la chispa (encendido), este resultado se encuentra todavía en la categoría de susceptibilidad. Algunos Equipos sometidos a una prueba pueden ser insensibles o se ven afectados por la combustión súbita generalizada, mientras que otros sin duda se considerarían que ha sido alterado por la combustión súbita generalizada.

Los resultados quinto, sexto y séptimo describen la vulnerabilidad del equipo. El resultado quinto (la degradación del aislamiento o ruptura) puede producirse a través de las superficies de aislamiento o dentro de aislamiento sólido como resultado de descargas parciales, especialmente si se aplican varias pruebas.

El resultado sexto (sobretensiones protector-dispositivo degradación) podría ocurrir como resultado de la secuencia de sobretensiones de pruebas superiores al régimen de un solo pulso de corriente del dispositivo o excediendo el número de sobretensiones en una corriente menor para el que esté. El resultado puede ser un cambio en la tensión nominal, la corriente de espera, o limitación de tensión que no es lo suficientemente grande como para ser considerado fallo del dispositivo (generalmente, un cambio de más de $\pm 10\%$), pero podría ser un cambio suficiente para indicar que el dispositivo se está acercando fracaso.

El resultado séptimo (daño permanente) puede ocurrir en cualquiera de los circuitos de control de potencia o como resultado de chispa con o sin corriente produciendo una degradación permanente, o como resultado de un fallo de semiconductores o deposición excesiva de energía conduce a componente o el desgaste de grabado.

Algunos de los resultados puede ocurrir en combinación, para que las distinciones hechas aquí no sean tan claras, en realidad, pero sin embargo son útiles como punto de partida. Recuerde que cualquier sobretensión de prueba es potencialmente destructiva para el equipo sometido a prueba, y las precauciones apropiadas se deben tomar.

2.1.6.7 Pruebas sin alimentación frente a las pruebas accionamiento.

La prueba de sobretensiones puede aplicarse al equipo sometido a prueba de dos maneras:

- Con la alimentación de funcionamiento normal (prueba sin motor).
- Con la potencia de funcionamiento normal aplicada al equipo sometido a prueba (pruebas de tensión).

La finalidad de la prueba será determinar si un método es suficiente o si ambas son recomendables.

Pruebas sin alimentación es suficiente en situaciones en las que un resultado de la prueba no depende de la evaluación del equipo bajo prueba es decir del rendimiento durante la sobretensión de prueba, y para el seguimiento de corriente no se considera que es un factor significativo en lo que respecta a la vulnerabilidad. Por ejemplo descarga disruptiva de un dispositivo electromecánico puede ser el criterio de falla seleccionado. Pruebas sin motor suele ser necesario como pruebas preliminares de potencia, para el diseño y las pruebas de diagnóstico.

2.1.6.8 Pruebas de potencia es necesario en dos casos:

- Cuando un resultado de la prueba depende de la evaluación del desempeño funcional del equipo sometido a prueba durante la sobretensión.

Por lo tanto, una prueba de sensibilidad implica el funcionamiento normal del equipo antes de la oleada, por lo tanto, el equipo sometido a prueba sólo se puede comprobar en el modo de alimentación.

- Cuando la determinación de vulnerabilidad del equipo sometido a prueba implica la probabilidad o consecuencia de una corriente de seguimiento (que también podría depender en parte en el ángulo de fase en la que se aplica el aumento con respecto a la onda de tensión de línea).

2.1.6.9 Soportar los niveles.

La prueba de carga se lleva a cabo normalmente en las diferentes etapas en un ciclo de vida del producto, tales como el diseño, control de calidad, y la protección de la modificación. La extensión y gravedad de la prueba dependerá de la etapa en particular implicada. Una prueba de diseño es probable que incluya pruebas al fracaso, mientras que una prueba de producción debe evitar cuidadosamente la creación de fallas incipientes. El aumento de la tensión y el medio ambiente de corriente de sobretensión se describen sólo en términos estadísticos, sin imponer un nivel de resistencia fija.

Los niveles de resistencia deben ser expresados en términos de voltaje para los equipos mostrando alta impedancia a un aumento; para aquellos equipo sometido a prueba que contienen un dispositivo de protección contra sobretensiones, el nivel resistencia debe ser expresado en términos de corriente a fin de dar cuenta a la deposición de energía. Un requisito de que un dispositivo indefinido, genérico debe soportar una deposición de energía especificada no es significativo porque la energía depositada en unos resultados de dispositivos particulares de la combinación de la impedancia del generador de impulsos y la respuesta del dispositivo dinámico.

2.1.6.10 Formas de onda de voltaje y corriente.

La naturaleza del equipo sometido a prueba afectará a su respuesta a unas sobretensiones de prueba aplicada. Una alta impedancia del equipo sometido a prueba, tal como un arrollamiento, un semiconductor en el modo de bloqueo, se destacaran por una sobretensión. La energía asociada con el aumento no es significativo aquí. Una baja impedancia del equipo sometido a prueba, tal como un circuito que contiene condensadores de filtro o dispositivos de protección desviadores de sobretensiones, se destacara por una de corriente de sobretensión. La energía depositada en los componentes es un factor significativo en una baja impedancia del equipo sometido a prueba. Un tercer tipo de equipo sometido a prueba, tal como un sistema con varios puntos de tierra de referencia, se destacó por un aumento de corriente aplicada entre los puntos de referencia diferentes. Esta prueba también puede proporcionar información esencial sobre la capacidad de prueba del equipo sometido.

Aunque este tercer aspecto de las pruebas de picos no es directamente dentro del alcance de circuitos de baja tensión de corriente alterna, se debe reconocer. Algunas discusiones se proporcionan en B.9. Por lo tanto, la forma de onda para las pruebas de tensión y corriente debe incluirse cuando se especifica un procedimiento de prueba. IEEE Std C62.41.2-2002 hace una distinción entre las pruebas de tensión y corriente.

La selección específica de los niveles de resistencias, por voltaje, así como actual, depende de la exposición a los transitorios, así como sobre las consecuencias de un fallo para soportar el transitorio. Esta práctica recomendada proporciona una cierta perspectiva en la selección de los niveles apropiados, pero la elección final debe ser hecha por el usuario de este documento.

2.1.7 Norma NTC 4552.

La base para esta norma es la IEC61024, establece las medidas que se deben adoptar para lograr la protección eficaz contra los riesgos asociados a la exposición directa o indirecta de personas, animales, equipos y el entorno de descargas eléctricas.

Esta norma no es aplicable a sistemas de transmisión, generación ni distribución de energía eléctrica, instalaciones de comunicaciones, medios de transporte ni estructuras que contienen explosivos o químicos.

A continuación se muestra esquemáticamente el sistema integral de protección contra rayos.

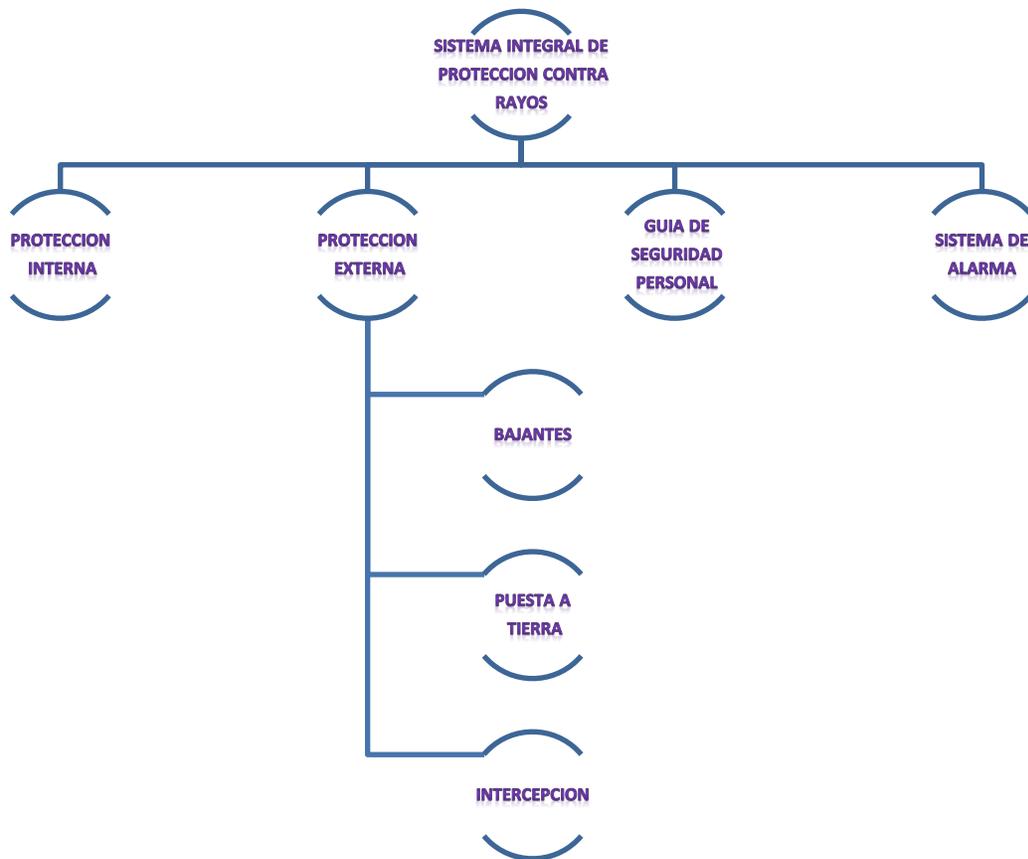


Figura 13. Organigrama que muestra sistema integral de protección contra rayos.

Sistema protección externa: Capta rayos y los lleva a tierra.

Instalación de interceptación de rayos: Interceptar rayos

Bajantes: Conocer la corriente de rayos

Sistema de puesta a tierra: dispersar y disipar las corrientes de rayo.

Sistema de protección interna: Limitar las sobretensiones

Guía de seguridad personal: Formación para adquirir comportamientos seguros

Sistema de alarma o detección de tormentas: anunciar cercanía de tormentas eléctricas.

Las medidas de protección sobre una estructura están enfocados así los efectos directos e indirectos.

Este estudio depende del factor de riesgo teniendo en cuenta los parámetros de la zona y la gravedad según el tipo de estructura podrían ser como se muestra en la *tabla 15*.

Riesgo	Recomendación
Bajo	Diseñar e implementar un sistema de protección interna y un sistema de puesta a tierra de acuerdo con las normas IEEE 1100, NTC 2050 y NTC 4552.
Medio	Diseñar e implementar un sistema de protección externo, sistema de protección interna y un sistema de puesta a tierra de acuerdo con las normas IEEE 1100, NTC 2050 y NTC 4552.
Alto	Diseñar e implementar un sistema de protección interna y un sistema de puesta a tierra de acuerdo con las normas IEEE 1100, NTC 2050 y NTC 4552. Apantallamiento de equipos sensibles y estrictos mantenimientos de las protecciones internas cada vez que se presenten descargas directas o cercanas.

Tabla 15. Factores de riesgo.

Como se realiza y las ecuaciones que se utilizan se irán desglosando en cada uno de los casos que se van a ver a continuación, con respecto a esta norma.

Escogiendo en la tabla el valor del nivel de gravedad se establece el factor de riesgo en la matriz de la *tabla 16*:

Gravedad					
Promedio	Severa	Alta	Moderada	Baja	Leve
Leve					
Baja					
Moderada					
Alta					

Alto
 Medio
 Bajo

Tabla 16. Niveles de gravedad.

Esta norma está sujeta a ser actualizada permanentemente con el objeto de que responda en todo momento a las necesidades y exigencias actuales.

La presente y única actualización de la NTC 4552 ha tenido en cuenta los siguientes aspectos:

- ✓ Revisión de todas las definiciones.
- ✓ Reorganización de los temas para que sea más fácil su lectura.
- ✓ Explicación del fenómeno del rayo se dejó como anexo.
- ✓ Ampliación de lo relacionado con protecciones internas.
- ✓ Revisión de la metodología para la evaluación del nivel de riesgo.
- ✓ Inclusión de un ejemplo de aplicación de la norma.

Esta norma no tiene la finalidad de ser un manual de especificaciones de diseño, ni un texto de instrucciones para personal no calificado, ni provee el soporte legal para hacer la minuta de un contrato. Es un documento de carácter eminentemente técnico, cuyo cumplimiento se espera que sea exigido por los usuarios interesados en una buena protección contra rayos, como garantía de protección de sus intereses.

2.1.8 BS 6651.

BS 6651 (Protección de estructuras contra el rayo) claramente recomienda la estricta adherencia a la provisión de un sistema de protección contra rayos convencional (LPS) - a la exclusión total de cualquier otro dispositivo o sistema para el cual reivindicaciones de protección reforzada se hacen. Los Principales componentes de un sistema convencional de estructura de protección contra rayos, de acuerdo con BS 6651 son los siguientes:

- Aire terminación de la red.
- Los conductores de bajada.
- Tierra de terminación de red.
- Unión (para evitar parpadeo secundario).

Al final de agosto de 2008 Norma Británica BS 6651:1999 será sustituido por el British Norma. Norma Europea (BS EN) 62305. La nueva norma BS EN incorpora cientos de cambios y es considerablemente más grande y más compleja que su predecesora. Hay cuatro partes que abarcan:

- (1) Principios generales - una introducción a las otras partes.
- (2) Gestión de Riesgos - definir el nivel de sistema de protección contra rayos se requiere.

- (3) Daño físico a estructuras y peligro para la vida - se definen cuatro niveles de protección contra rayos y tres métodos para determinar la posición del sistema de terminación de aire.
- (4) Los sistemas eléctricos y electrónicos en estructuras. Esta sección contiene una de las más las diferencias fundamentales entre las dos normas, lo que hace a la protección de electrónica equipo una parte integral de la norma y haciendo hincapié en el uso coordinado de sobretensiones dispositivos de protección – DOCUP Los cambios más significativos son el enfoque y la ampliación de los riesgos proceso de evaluación y la inclusión, dentro del cuerpo principal del texto, de la específica orientación sobre la aplicación y comprobación de los dispositivos de protección contra sobretensiones, como parte del riesgo evaluación de cálculo. Los cuatro riesgos diferentes que un edificio puede incurrir en una lista a continuación y se pueden abordar en función de las necesidades de los clientes / edificio / necesidades son:

El primer riesgo es la principal abordado en el marco del actual BS 6651:1999, junto con sólo una parte de riesgo 2. Los riesgos 3 y 4 no se consideran, esto se hace por primera vez en BS EN 62305. El nivel de protección requerido determinará cuántos de los riesgos evaluaciones se realizan con el fin de determinar el nivel, en su caso, de la protección que se requiere para reducir el riesgo a un nivel tolerable, (RT). Esta es una práctica nueva, antes de un sistema de protección contra rayos diseñado para BS6651 no hubiera sido capaz de proteger los sistemas eléctricos o electrónicos de transitorios de alta energía que surge resultado a partir de una descarga de rayo (R4).

Las largas y complejas y repetitivas evaluaciones de riesgo, como se describe en la norma BS EN 62305 - Parte 2, probablemente ahora se llevará a cabo a través de un programa de software de evaluación. Estos están disponibles y son de diferentes grados de costo y conveniencia. los programas se pueden adquirir en estos partidos y organizaciones como la británica Standards Institute, Furse - una compañía de Thomas y Betts y Dehn Limited (Reino Unido), todos son bastante caros por lo que puede ser más apropiado para la construcción particular a sólo proporcionar los datos requeridos. Para asegurarse de que todos los factores que podrían afectar las evaluaciones finales de los riesgos son incluido en los cálculos es recomendable que los propietarios y custodios de la histórica edificio, o sus agentes, llevar a cabo la recolección de la información necesaria, (más información detallada, que se necesita actualmente, se requiere para llevar a cabo el BSEN 62305 - Parte 2 evaluaciones de riesgo), lo que deja a los contratistas a licitación recoger dos diferencias principales. La nueva norma define cuatro clases diferentes de protección basan en el máximo

probable y corrientes eléctricas mínimas. Estos niveles de formar el base de las diferentes clases de sistema de protección contra rayos (*LPS*).

2.1.9 IEC 61024-1-1.

Permite la selección del nivel de protección para el sistema de pararrayos, próximamente saldrá la IEC 62305, que sustituirá esta de manera actualizada. Por medio de esta norma a partir de la frecuencia permitida de los impactos de los rayos a una estructura y la frecuencia directa de rayos esperada, determinar el nivel de protección a tener en cuenta, Por medio de términos y definiciones encontrados en esta.

La metodología descrita en la norma internacional IEC es altamente rigurosa y requiere de la evaluación de múltiples factores.

2.1.9.1 Principios generales

El riesgo de falla de un sistema eléctrico depende de las siguientes variables:

- Densidad de rayos a tierra del lugar.
- Parámetros de la corriente de la descarga atmosférica.
- Soportabilidad de los equipos ante sobretensiones.
- Implementación de medidas de protección.

Estas variables presentan un comportamiento aleatorio, por lo cual su interacción con el sistema a evaluar debe ser estudiada a la luz de un análisis de tipo probabilístico.

Si la probabilidad de que una descarga impacte en una estructura se correlaciona con la probabilidad de que produzca daño, es posible demostrar que el riesgo anual de falla se puede expresar por la *ecuación (1)*.

$$R = (1 - e^{-N*P*t}) * \delta \quad (1)$$

En la ecuación anterior:

N: Promedio anual de impactos de rayos sobre el sistema.

P: Probabilidad de daño del sistema ante los efectos del rayo.

t: Tiempo en años.

δ : Coeficiente que involucra aspectos económicos y sociales sobre las consecuencias de falla del sistema.

El producto $N * P$ representa el número promedio de fallas anuales del sistema para la condición P , como lo muestra la *ecuación (2)*.

$$F = N * P \quad (2)$$

Si $t = 1$ año, y $N * P \ll \ll 1$, la *ecuación (1)* se convierte en la *ecuación (3)*.

$$R = F * \delta \quad (3)$$

2.1.9.2 Evaluación del riesgo.

Para realizar la evaluación del riesgo deben conocerse los diferentes tipos de fallas que pueden originarse como consecuencia de una descarga atmosférica, directa o cercana a la edificación o a sus acometidas de servicios.

Las fallas se clasifican en cinco tipos; los riesgos de cada uno deben evaluarse en forma independientemente. Ellos son:

- 1) Lesiones o pérdidas de vidas humanas.
- 2) Falla inaceptable de servicio público.
- 3) Pérdida de valores irremplazables de patrimonio de la humanidad.
- 4) Pérdida que no implican algún elemento humano, cultural o social.
- 5) Pérdida como la de tipo 4, pero que no envuelve equipo electrónico indispensable.

Debido a esta clasificación, la *ecuación (3)* se puede expresar como:

$$R_j = F_j * \delta_j \quad (3.a)$$

Donde j es cada uno de los tipos de falla a ser evaluados.

Las fuentes que pueden producir los tipos de falla mencionados son:

S1: tensiones de paso y contacto por impactos directos de la descarga atmosférica³¹.

S2: incendios, explosiones, efectos mecánicos por impactos directos de la descarga atmosférica.

S3: sobretensiones en equipos por impactos directos de la descarga atmosférica.

S4: sobretensiones en equipos por impactos indirectos de la descarga atmosférica³².

³¹ Rayo que impacta directamente sobre una edificación o a una distancia no mayor a 1/3 de la altura de la misma.

³² Rayo que impacta directamente sobre una edificación o a una distancia no mayor a 1/3 de la altura de la misma.

S5: incendios, explosiones, efectos mecánicos por impactos indirectos de la descarga atmosférica.

Cada tipo de falla puede ser causada por diferentes fuentes de daño. A la relación existente entre los diferentes riesgos de falla y las posibles fuentes de daño se las denomina matriz de vulnerabilidad; esta matriz se presenta en la *Tabla 17*.

Tipo de falla	Fuente de falla				
	Impacto directo			Impacto indirecto	
	S1	S2	S3	S4	S5
1	1	1			1
2		1	1	1	1
3				1	1
4		1	1	1	1
5				1	1

*Tabla 17. Matriz de vulnerabilidad (IEC, 1995).*³³

Cada riesgo de daño puede expresarse como la suma de tres diferentes componentes, como se presenta en la *ecuación (4)*.

$$R = R_d + R_i + R_o \quad (4)$$

En la anterior ecuación:

$$R_d = N_d * P * \delta \quad (5) \quad \text{Componente relacionada con impactos directos.}$$

$$R_i = N_n * P * \delta \quad (6) \quad \text{Componente relacionada con impactos próximos al sistema.}$$

$$R_o = N_k * P * \delta \quad (7) \quad \text{Componente relacionada con impactos sobre acometidas de servicios.}$$

En las *ecuaciones (5) a (7)*:

N_d : frecuencia anual de impactos directos a la edificación.

N_n : frecuencia anual de impactos indirectos.

N_k : frecuencia anual de impactos a las acometidas eléctricas.

Para evaluar el nivel de riesgo de cada una de las posibles cinco formas de falla deben determinarse los parámetros: N_d , N_n , N_k , F y δ . No es necesario determinar los coeficientes R_d , R_i y R_o , pues ellos están implícitamente contemplados en el procedimiento que se explica a continuación.

³³ O. Sánchez, Helmuth E. Evaluación del riesgo. En: Evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión a causa de los rayos, bajo la metodología IEC. [Medio electrónico]. Pág. 42, 2003; [consultado 2/06/2011]. Disponible en: < <http://tecunura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/284>>

2.1.9.3 Frecuencia anual de impactos directos (N_d).

El promedio anual de impactos directos de rayo sobre la estructura se encuentra dado por la *ecuación (8)*.

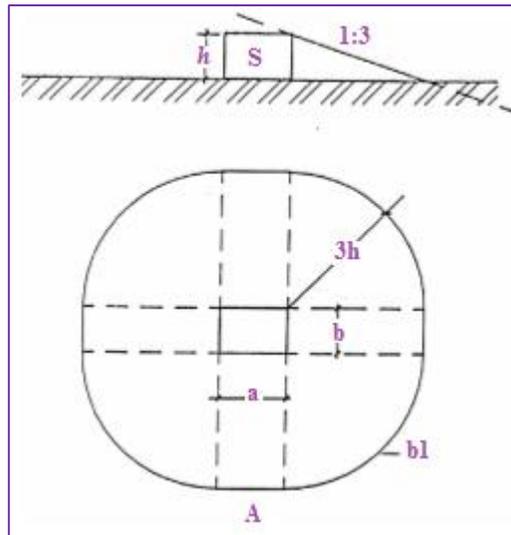
$$N_d = N_g * A_e \quad (8)$$

En (8):

N_g : densidad de rayos a tierra del lugar donde se encuentra la edificación.

A_e : área efectiva de la edificación.

El área efectiva se determina como lo indica la *Figura 14*³⁴ (IEC, 2000: 26).



*Figura 14. Área efectiva (A_e).*³⁵ $A_e = ab + 6h(a + b) + 9\pi h^2$.

2.1.9.4 Frecuencia anual de impactos cercanos a la estructura (N_n).

El promedio anual de impactos próximos a la estructura, que origina elevaciones del potencial de tierra que pueda influenciarla directamente o a sus acometidas de servicios, se encuentra dado por la *ecuación (9)*.

$$N_n = N_g * A_g \quad (9)$$

En la ecuación anterior:

³⁴ Esta área puede ser menor si hay estructuras próximas al sistema a proteger.

³⁵ O. Sánchez, Helmuth E. Evaluación del riesgo. En: Evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión a causa de los rayos, bajo la metodología IEC. [Medio electrónico]. Pág. 42, 2003; [consultado 2/06/2011]. Disponible en: < <http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/article/view/284>>

A_g : área circunvecina a la edificación.

El área circunvecina se determina como lo indica la **Figura 15**. El área interior es A_e y el radio exterior (expresado en metros) es igual a la magnitud de la resistividad del terreno – ρ (expresada en Ωm) y no superior a 500 m.

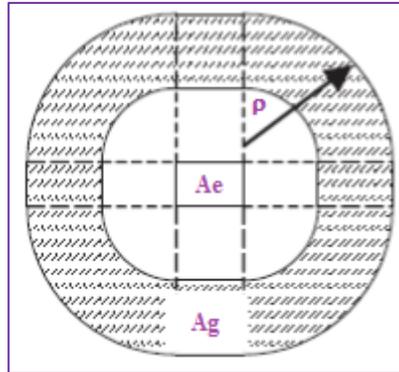


Figura 15. Área circunvecina (A_g).³⁶

2.1.9.5 Frecuencia anual de impactos en acometida de servicios (N_k).

El promedio anual de impactos en las acometidas de servicios, que origina elevaciones de potencial al interior de la edificación se encuentra dado por la *ecuación (10)*.

$$N_k = N_g * A_k \quad (10)$$

En (10):

A_k : área de influencia de la acometida (área del corredor de la acometida)³⁷.

2.1.9.6 Cálculo de frecuencia de daño anual según el tipo de falla (F_j).

Para determinar el número de fallas al año que pueden presentarse en condición de falla se suman las frecuencias de daño anual debidas a cada una de las fuentes de falla, como se presenta en la matriz mostrada en la *tabla 18* (IEC 61662, 1995).

³⁶ O. Sánchez, Helmuth E. Evaluación del riesgo. En: Evaluación del riesgo de daño en sistemas eléctricos de baja tensión a causa de los rayos, bajo la metodología IEC. [Medio electrónico]. Pág. 42, 2003; [consultado 2/06/2011]. Disponible en: < <http://tecnura.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revista/articulo/view/284>>

³⁷ Las dimensiones de este corredor son: ancho (en metros) igual a la resistividad - ρ del terreno (en Ωm); largo igual a longitud de la acometida.

Tipo de falla	COMPONENTE DE FRECUENCIA DE DAÑO						
	Impactos directos			Impactos indirectos			
	H	A	D	B	C	E	G
1	1	1	0	1	1	0	0
2	0	1	1	1	1	1	1
3	0	1	0	1	1	0	0
4	0	1	1	1	1	1	1
5	0	1	0	1	1	0	0

Tabla 18. Matriz de frecuencia de fallas (IEC61662,1995).

El número 1 indica que la componente se debe tener en cuenta para calcular la frecuencia de daño para el tipo de falla determinado.

En la *tabla 18*:

H: número de daños por tensiones de paso y contacto al año.

A: número de daños debidos a incendios o explosiones por impactos directos de descargas atmosféricas.

B: número de daños por impactos en áreas próximas a la instalación.

C: número de daños debidos a incendios o explosiones por impactos indirectos de descargas atmosféricas.

D: número de daños por impactos directos de descargas atmosféricas.

E: número de daños por sobretensiones debidas a impactos en proximidades.

G: número de daños por sobretensiones debidas a impactos en acometidas de servicios.

Los factores H, A, B, C, D, E, G se calculan como lo muestran las *ecuaciones (11) a (17)*.

$$H = N_d * P_h \quad (11)$$

$$A = N_d * P_t * (P1 + P2 + P3 + P4) \quad (12)$$

$$B = N_n * P_t * P3 \quad (13)$$

$$C = N_k * P_t * P3 \quad (14)$$

$$D = N_d * (P2 + P3) \quad (15)$$

$$E = N_n * P3 \quad (16)$$

$$G = N_k * P3 \quad (17)$$

En las anteriores ecuaciones:

P_h : probabilidad de lesión debido a tensiones de paso o contacto.

- Pt: probabilidad de que una chispa produzca un incendio o una explosión.
P1: probabilidad de que una chispa peligrosa afecte una instalación metálica.
P2: probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las acometidas eléctricas internas de la estructura.
P3: probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las acometidas de distribución de la estructura.
P4: probabilidad de que una chispa peligrosa afecte las partes conductoras externas a la estructura.

Finalmente, la frecuencia de daño anual (F) se calcula como lo indican las *ecuaciones* (18) a (20).

$$F_d = H + A + D \quad (18) \quad \text{Frecuencia de daño anual debida a impactos directos.}$$

$$F_i = B + C + E + G \quad (19) \quad \text{Frecuencia de daño anual debida a impactos indirectos.}$$

$$F_j = F_d + F_i \quad (20) \quad \text{Frecuencia de daño total.}$$

De acuerdo con lo presentado en la *tabla 18*, la frecuencia de daño debida a cada uno de los tipos de falla se calcula como se indica en la *tabla 19*.

Tipo de falla	Frecuencia de daño (F_j)
1	$F1 = H + A + B + C$
2	$F2 = A + D + B + C + E + G$
3	$F3 = A + B + C$
4	$F4 = A + D + B + C + E + G$
5	$F5 = A + B + C$

Tabla 19. Frecuencia de daño para cada tipo de falla.

2.1.9.7 Cálculo del factor del número permitido de fallas (d_j).

El número aceptable de fallas causadas por efectos del rayo debe calcularse para cada uno de los tipos de falla. Este factor depende de:

- Número de personas y tiempo de exposición al riesgo de falla.
- Tipo e importancia del servicio público.
- Valor de los bienes involucrados.

Los factores δ_j para cada tipo de falla se calculan como se muestran en la *tabla 20*.

Tipo de falla	δ_j
1	$\delta I = I - (I - t/8760)^n$

2	$\delta 2 = (n' * t') / n_t * 8760$
3	$\delta 3 = C_i / C_t$
4	$\delta 4,5 = C_m / C_v$
5	

Tabla 20. Factor del número permitido de fallas (IEC 61662, 1995).

En la *tabla 20*:

t : tiempo (*horas*) al año en la que personas transitan por el área susceptible a tensiones de paso y contacto.

n : número de personas en riesgo.

t' : tiempo en horas al año en que el servicio es interrumpido.

n' : número de usuarios afectados por pérdida de servicio.

n_t : número total de usuarios.

C_i : valor de los bienes en peligro por causa de la falla.

C_t : valor de todos los bienes de la edificación.

C_m : valor del mobiliario en riesgo por causa de la falla.

C_v : valor total del mobiliario de la edificación.

2.1.9.8 Cálculo del riesgo.

El riesgo para cada uno de los tipos de falla se calcula de acuerdo con la *ecuación (3)*.

Una vez calculado el nivel de riesgo, este se compara con el valor de riesgo aceptable de falla (R_a), el cual se muestra en la *tabla 21* (IEC, 1995).

Tipo de falla R_a	Tipo de pérdidas	
1	10^{-5}	Pérdidas anuales de vidas
2	10^{-3}	Pérdidas anuales de servicio
3	10^{-3}	Pérdidas anuales de patrimonio humano
4 y 5	Criterio del diseñador	Pérdidas que no implican algún elemento humano, cultural o social

Tabla 21. Riesgo aceptable de falla (IEC 61662, 1995).

Si el riesgo calculado es mayor que el de la *tabla 21* ($R_j > R_a$), debe implementarse un sistema de protección integral que reduzca el riesgo a un nivel seguro. Este sistema debe tener una eficiencia superior a la calculada con la *ecuación (21)*. En la situación contraria, la edificación no requiere medidas adicionales de protección.

$$E = 1 - \frac{R_a}{R_j} \quad (21)$$

Este valor de la eficiencia del sistema debe aproximarse a los valores normalizados, los cuales se muestran en la *tabla 22* (IEC 61024-1-1, 2000: 25).

Nivel de protección	Eficiencia E
I	0,98
II	0,95
III	0,90
IV	0,80
No requiere medidas de protección	< 0,80

Tabla 22. Valores de eficiencia en función del nivel de protección (IEC 61024-1-1, 2000: 25).

La determinación del nivel de protección requerido para cada uno de los riesgos evaluados permite fijar los parámetros de diseño estipulados por las normas IEC 61024-1 “Protection of Structures against Lightning”, e IEC 61312 “Protection against Lightning Electromagnetic Impulse”.

2.1.10 NFPA780.

NFPA adoptó por primera vez las especificaciones para la protección de edificios contra el Rayo en 1904. Revisado normas fueron adoptadas en 1905, 1906, 1925, 1932 y 1937. En 1945, el Comité de la NFPA y la Paralelamente Comité de AAS en la protección contra el rayo se reorganizaron y se combinan con el el patrocinio de la NFPA, la Oficina Nacional de Normas, y el Instituto Americano de Ingenieros Eléctricos Ingenieros (ahora IEEE). En 1946, la NFPA actuado a adoptar la Parte III y en 1947 publicó una versión revisada edición de la incorporación de esta parte.

Nuevas revisiones recomendadas por el Comité fueron aprobados por NFPA 1949, 1950, 1951, 1952, 1957, 1959, 1963, 1965, 1968, 1975, 1977, 1980, 1983, 1986, 1989, y 1992. Comenzando con la edición de 1992 del Código de protección contra rayos, la designación numérica NFPA del documento fue cambiado de la norma NFPA 78 y NFPA 780. Con la publicación de la edición de 1995, el nombre del documento fue cambiado de relámpago Código de Protección a la Norma para la instalación de los sistemas de protección contra rayos. Este cambio fue dirigido por el Consejo de Normas con el fin de hacer que el título de reflejar más adecuadamente el documento de contenido. Además, el Consejo dirigido ciertas modificaciones en el alcance del documento en orden a aclarar que el documento no cubre los requisitos de

instalación de rayos de protección de cebado de emisión o sistemas de rayos disipador de la matriz. La edición de 1997 de la NFPA 780 incorpora cambios en la redacción para que el usuario el documento sea de más ambiente. En la expedición de este documento, el Consejo de Normas ha señalado que el relámpago es un proceso estocástico, si no proceso de caprichosa y natural. Su comportamiento aún no se conoce completamente. Este estándar se destina a establecen los requisitos, dentro de los límites del estado actual del conocimiento, para la instalación de los los sistemas de protección contra rayos cubiertos por la norma. La edición de 2000 de la NFPA 780 fue enmendada para proveer las necesidades de las estructuras abiertas, como las se encuentran en campos de golf. Un gráfico de la densidad de 1998 un rayo de flash sustituyó a la frecuencia de descargas 1972. La edición 2004 de la NFPA 780 refleja una amplia revisión de la redacción de la norma para cumplir con la última edición del Manual de Estilo de la NFPA. Estas revisiones incluyen la adición de tres NFPA 780 Norma para la Instalación de Sistemas de Protección.

Las actualización e información al respecto de esta norma se pueden observar en los casos de estudio que se ve en el capítulo 3, el cual tiene como principal necesidad establecer un sistema de protección contra rayos en una estructura, mediante la aplicación de las normas IEC 61024, NFPA 780, BS 6551 y NTC 4552 aplicable a Colombia, con diferentes parámetros de incidencia de rayos a los estimados en los países de origen.

Este capítulo se basa en investigaciones realizadas acerca del análisis de compatibilidad electromagnética en los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos haciendo énfasis en los siguientes entornos:

- ✓ Embarcaciones Fluviales.
- ✓ Sistema de potencia de baja tensión de corriente alterna (1000V y menos).

3.1 Embarcaciones fluviales.

Requieren de antenas integrales en el rango de frecuencias de 100 kHz a 1 GHz, dado que el espacio en la cubierta superior es limitado y compartido con muchos otros sistemas, eventuales problemas de compatibilidad electromagnética son inevitables. Aun teniendo el mayor cuidado posible en la configuración de las ubicaciones para las antenas y radar en la cubierta superior, la proximidad física de las mismas hace imposible prevenir las desventajas importantes en el rendimiento de las líneas individuales.



*Figura 16. Ejemplo relacionado de una embarcación fluvial.*³⁸

En la *Figura 16*, se observa un ejemplo de un buque navegando el cual puede estar sometido a perturbaciones por el medio, están propensos a sufrir de perturbaciones como variaciones de tensión de alimentación, descargas electrostáticas y descargas eléctricas atmosféricas tipo rayo.

³⁸ JIMENEZ G. VICTOR, "Valoración de la protección contra sobretensiones en embarcaciones que navegan en los ríos colombianos: caso de estudio". En: Colombia 1909. *ed: v.1 fasc.N/A p.43 - 50*,2007

Las investigaciones relacionadas en este ítem se basan en el desarrollo de la industria naval y fluvial de la empresa COTECMAR, ubicada en la ciudad de Cartagena kilómetro 5, vía Mamonal. Realizados por estudiantes de la Universidad Tecnológica de Bolívar para trabajo de grado.

La empresa COTECMAR construye y diseña sus propios buques fluviales denominados Buques nodrizas para la armada nacional al igual que construye bajo diseños realizados internacionalmente.

Basado en conceptos relacionados en esta investigación y las normativas internacionales, buscando con esto el mejor desempeño y la seguridad. Ya de que estos buques, son muy propensos a sufrir interferencias y perturbaciones de compatibilidad electromagnética el cual puede deteriorar la confiabilidad y el desempeño óptimo de los sistemas a bordo.

A continuación se relaciona dos casos de estudios:

3.1.1 Caso de estudio 1: Pruebas de inmunidad en equipos de comunicaciones para el buque Nodriza Fluvial IV.

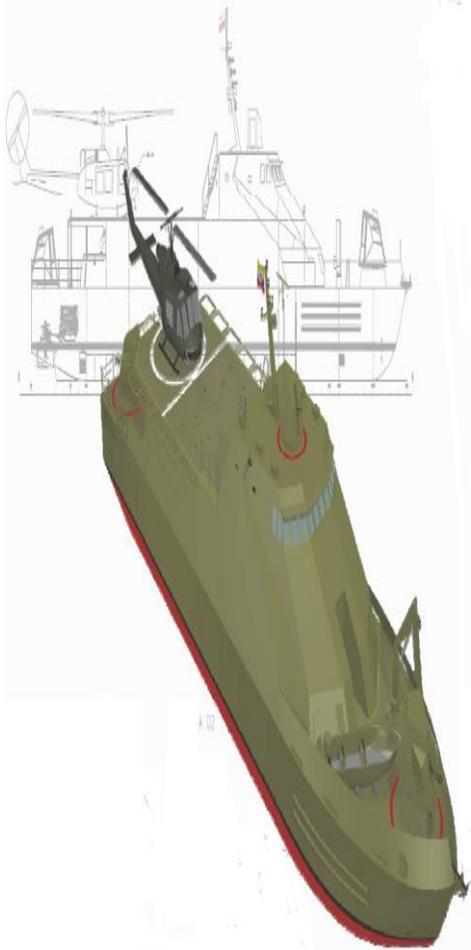
Buque Nodriza Fluvial IV		
Creado como soporte logístico a los elementos de combate fluvial en operaciones de asalto, seguridad, control, abastecimiento de operaciones diurnas bajo VMC (Visual Meteorological conditions) a helicópteros tipo medianos, Compuesto por los siguientes equipos de comunicación:		
	Antena:	Tipo látigo de 3m
	Compas magnético:	Marca Richie, Ref.Corsair IV
	GPS:	Marca Garmin, Ref.Map 172
	Sistema de teléfonos internos:	Marca Amplidan
	1 Estación maestra:	Ref.; SPT 9011, IP66
	12 Teléfonos autoexcitados:	Ref.; SPT 9011, IP66
	13 Headsets:	Marca Peltor
	Sistema de radio:	Bandas HF, VHF y UHF, Marca Tadiran
	Ecosonda:	MarcaStandart Horizon, Ref:DST50
	Radar:	Marca Raymarine, Ref. RL72CRC
	Antena de radar:	Tipo Domo cerrado, velocidad de giro 24 rpm, alcance 24NM, Ubicación parte más alta del mástil
	Transmisor RF de radar:	Frecuencia de Tx 9410 +/-30MHz
	Display:	Pantalla de 7", 6 colores LCD
	PLC, para procesamiento de datos:	Siemens S700

Tabla 23 . Listados de equipos sensibles a CEM's instalados en la nave.³⁹

Para el caso específico del Buque Nodriza Fluvial IV, el sistema de comunicaciones y posicionamiento presentaba fallas aleatorias durante la navegación, lo que hacía pensar al equipo de construcción de la embarcación que se trataba de una interferencia entre los distintos equipos de comunicaciones, por lo cual se decidió

³⁹ Rodríguez Domingo. Estudio de Compatibilidad Electromagnética (EMC) en Embarcaciones Fluviales. Caso de Estudio: Buque Nodriza VI, pág. 121, 2007.

realizar pruebas de compatibilidad electromagnética para equipos de comunicaciones siguiendo el estándar IEC.

En el desarrollo de las pruebas los equipos de comunicación de la nave críticos durante la operación, se les aplica un protocolo de pruebas recomendado para verificar la inmunidad de los equipos ante interrupciones eléctricas y descargas atmosféricas realizadas:

- ✓ Descarga por contacto y al aire.
- ✓ Interrupción de potencia.
- ✓ Transitorios eléctricos rápidos en ráfagas.

En vista de que los equipos no presentaban inconvenientes en su operación, se decidió buscar la causa del fallo en otros subsistemas de la embarcación, encontrando así que las fallas eran ocasionadas por un inadecuado aterrizamiento de un área de la nave donde se encontraban los equipos de telecomunicación.

A continuación en la *tabla 24*, se hace referencia a los resultados obtenidos durante las pruebas por cada equipo de comunicaciones.

PRUEBA EQUIPO	DESCARGA POR CONTACTO Y ALAIRE	PRUEBA DE SOURCE Y PQT
RADIO HF ICOM	Durante el protocolo de prueba el sistema se le realizaron pruebas de descargas en planos horizontales y perpendiculares al equipo, de los cuales el equipo no perdió funcionalidad y se mantuvo estable el consumo de potencia y la corriente del equipo.	el equipo no presenta deterioros aparentes al finalizar las pruebas, sin embargo fue necesario crear una interrupción menor al 40%
GPS RAYTHEON	El equipo no presenta variación en su funcionamiento normal ni durante la aplicación de la pruebas en distintos niveles de tensión. Cuando el equipo sufre la descarga presenta un bloqueo de funciones el cual se retira reiniciando el dispositivo.	El equipo con la prueba de interrupción del 40% y 70% se apaga y regresa a su operación normal
RADAR	Se presentaron variaciones de la corriente en la primera prueba, sin embargo en la pantalla no hubieron alteraciones en la visualización, luego en una segunda prueba el equipo no presenta anomalías y continúa con una operación normal	no presento anomalías durante las pruebas y su comportamiento fue estable finalizado el protocolo
RADIO HF ICOM	Durante el protocolo de prueba el sistema se le realizaron pruebas de descargas en planos horizontales y perpendiculares al equipo, de los cuales el equipo no perdió funcionalidad y se mantuvo estable el consumo de potencia y la corriente del equipo.	El equipo no sufre deterioro aparente y se apaga al tener una interrupción mayor al 40%.
RADIO VHF YAESU	Durante el protocolo de prueba el sistema se le realizaron pruebas de descargas en planos horizontales y perpendiculares al equipo, de los cuales el equipo no perdió funcionalidad y se mantuvo estable el consumo de potencia y la corriente del equipo.	El equipo se apaga cuando la interrupción es mayor al 40% como en cualquier otro equipo, al finalizar la prueba no se establece la presencia de deterioros ni pérdida de funcionalidad cuando se restablece la operación normal del equipo.

*Tabla 24. Resumen de pruebas de la nodriza.*⁴⁰

⁴⁰ Rodríguez Domingo. Estudio de Compatibilidad Electromagnética (EMC) en Embarcaciones Fluviales. Caso de Estudio: Buque Nodriza VI, pág. 121, 2007.

3.1.2 Caso de estudio 2: Simulación de patrones de radiación y estimación de campos EM y corrientes superficiales inducidas en una embarcación pesquera.

En este caso, la investigación se centra en determinar el grado de interferencia que tienen 2 equipos de comunicaciones funcionando al tiempo sobre la estructura del puente del barco pesquero.

A continuación se muestra la *tabla 25*, que corresponde a los equipos de comunicación instalados en la embarcación pesquera.

Buque Celtic Explorer		
Creado con un multipropósito, que es la realización de pesca sofisticada y para investigación oceanográfica y/o biológica marina. Contando con el siguiente sistema de comunicación y navegación compuestos por los siguientes equipos:		
	Compas magnético:	Marca Richie, Ref. Corsair IV
	2 GPS:	Trimble 300D
	Sistema de navegación	Seapath 200
	Ecosonda:	Marca Furuno FCV 1200L
	2 Radares:	Furuno ARPA
	Sistema satelital de banda ancha	Seatel 528/128Kbps, Fleet 77, para comunicaciones de datos
	Transmisor RF de radar:	Frecuencia de Tx 9410 +/- 30MHz
	Girocompás	Robertson RGC 12

Tabla 25. Equipos de comunicación instalados en el pesquero. ⁴¹

En las etapas iniciales de proyecto fue necesario caracterizar las antenas del sistema de comunicaciones puesto que eran de materiales diferentes, esto sugería al equipo de investigación que los campos EM radiados podrían tener patrones de radiación ostensiblemente diferentes. Sin embargo en las simulaciones de los elementos de transmisión se verifico que la diferencia de los patrones era muy poca aunque la potencia irradiada por el elemento metálico era mayor a la del elemento metálico recubierto tal como se muestra en la *tabla 26*.

⁴¹ Giraldo Yuliana. Evaluación de Compatibilidad Electromagnética radiada en Antenas HF/VHF de un Buque de Acero. Pág. 130, 2011.

CASO	FRECUENCIA	PR	Diferencia	VSWR	Diferencia
ANTENA VHF PEC EN VACÍO	159MHz	17.49dB	---	13.690	---
ANTENA VHF COBRE EN VACÍO					
ANTENA HF PEC EN VACÍO	21.5MHz	19.8dB	---	12.570	---
ANTENA HF COBRE EN VACÍO					

*Tabla 26. Potencias radiados por los elementos durante la simulación individual.*⁴²

En la *tabla 26*, también es notorio que para el rango de frecuencias de simulación, los equipos se mantienen relativamente estables, lo que mejora la relación señal a ruido del sistema y por ende las comunicaciones de la embarcación.

Siguiendo con las pruebas, se realizó un estudio del comportamiento simulado del patrón de radiación, campos electromagnéticos y corriente inducidas de las antenas cuando son instaladas en el mástil y el puente del barco, el resultado de la simulación mostro que cuando se tienen 2 antenas de cobre ocurren los mayores valores de campo eléctrico y estos se encuentran localizados dentro de un radio de 2 metros aproximadamente alrededor de la base de la antena patrón de la simulación. El mayor valor de campo magnético es de 0.67239 A/m, véase *tabla 27*.

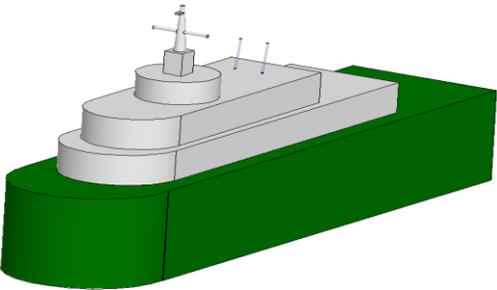
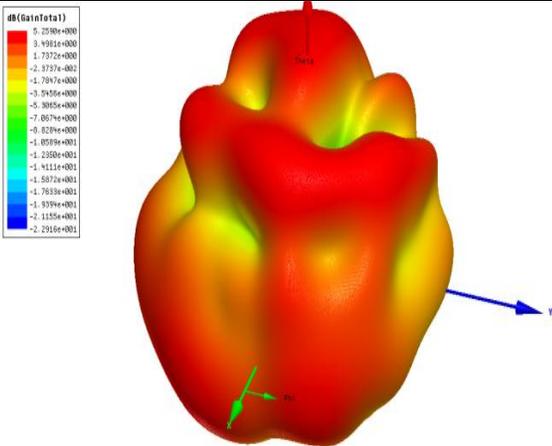
PARÁMETRO MEDIDO	PEC	COBRE
Corriente superficial (A/m)	0.71331	0.68251
Campo eléctrico (V/m)	228.20	497.33
Campo magnético (A/m)	0.61732	0.67239

*Tabla 27. Valores obtenidos para campos E y H y corriente superficial del monopolo HF PEC Vs. COBRE, cuando hay otra antena HF y un dipolo VHF operando.*⁴³

⁴² Giraldo Yuliana. Evaluación de Compatibilidad Electromagnética radiada en Antenas HF/VHF de un Buque de Acero. Pág. 130, 2011.

⁴³ Giraldo Yuliana. Evaluación de Compatibilidad Electromagnética radiada en Antenas HF/VHF de un Buque de Acero. Pág. 130, 2011.

A pesar de que la potencia radiada no se veía afectada por la interacción de las antenas, si se pudo evidenciar como se muestra en la *tabla 28*, que el patrón de radiación del grupo de antenas se hacía más directivo en dirección al frente de la embarcación, lo cual crea un punto ciego para las comunicaciones de la nave.

MONOPOLOS HF EN PEC UBICADOS SOBRE BUQUE COMPLETO EN ACERO	
ASPECTO	RESULTADO
<p>MODELO 3D DE LAS ANTENAS HF SOBRE EL BUQUE</p>	
<p>PATRON DE DISTORSIÓN DE UNA ANTENA HF EN 3D</p>	

*Tabla 28. Distorsión del patrón de radiación de antenas monopolo al estar ubicadas cerca.*⁴⁴

Con respecto a las corrientes inducidas en el casco de la embarcación, como se muestra en la *tabla 28*, estas son relativamente pequeñas y no generan una condición peligrosa de operación para los equipos de comunicaciones ni para el personal a bordo.

3.2 . Sistemas eléctricos de baja tensión con alimentación CA (1000V y menos).

En los sistemas eléctricos de baja tensión con alimentación CA es muy importante que los supresores de picos o de transientes sean seleccionados con la tecnología más adecuada y sean instalados apropiadamente para que éstos operen de acuerdo con las

⁴⁴ Giraldo Yuliana. Evaluación de Compatibilidad Electromagnética radiada en Antenas HF/VHF de un Buque de Acero. Pág. 130, 2011.

especificaciones, esto es lo más cerca de la carga. También es importante que el supresor seleccionado sea para proteger en un punto específico sobre un sistema de distribución eléctrica, dimensionado apropiadamente para su ubicación física y carga (KVA/kW).

La trilogía IEEE C62.41.1, C62.41.2 y C65.45-2002 son aceptado como unas normas de la industria de las formas de onda de prueba para corrientes y voltajes transitorios, para someter a pruebas a los dispositivos de protección contra transitorios en varias ubicaciones físicas a través de un sistema de distribución eléctrica. Donde las pruebas son realizadas por parte de los fabricantes en laboratorios especializados y certificados siendo que son de reserva al sumario por lo cual no se presenta un caso preciso de dichas pruebas sino los criterios por parte de los fabricantes, al usuario le resta ser cuidadoso en el momento de la compra no solo al seleccionar el producto correcto sino el proveedor confiable teniendo en cuenta sus certificaciones y actualizaciones de estas.

La trilogía mencionada anteriormente provee una guía a los fabricantes y usuarios para determinar la tolerancia a la que un dispositivo de protección de picos puede estar expuesto en base a esto se manejan como criterios lo siguiente:

- ***Calidad de los supresores:***

Un supresor de calidad tendrá que suprimir de 5,000 a 10,000 amperios de sobrecorriente cuando protege en ubicaciones de exposición mediana y alta. Por consiguiente, no existe la necesidad de productos de supresión de transitorios capaces de suprimir sobrecorrientes más allá de estos niveles.

- ***Se recomienda instalar supresores de picos de voltaje cerca de la carga:***

El sobrevoltaje y sobrecorriente transitorio son ondas que duran muy poco tiempo en el sistema de potencia CA y el cableado del sitio actúa como un sistema de disipación de potencia. La potencia de un transitorio generado dentro del sitio se puede disipar en longitudes de cable. Más disipación ocurre si tenemos varios metros en longitud de cable. Para poder controlar el nivel en que sube el transitorio se deben de usar supresores que se conectan en paralelo a las cargas sensibles.

De esta manera, actuarán como un sistema de baja impedancia al sobrevoltaje transitorio. Cuando un transitorio ocurre en el sistema, el supresor no deja que el sobrevoltaje transitorio suba convirtiéndose en una baja resistencia al transitorio. La corriente del transitorio pasa por el supresor de baja resistencia y se disipa por sus

componentes. El supresor limita el voltaje a la misma vez y no deja que el sobre voltaje suba dándole protección al equipo sensible.

○ ***Consideraciones de diseño para supresores externos e interno:***

1. Pistas de circuitos impresos e incluso pequeñas barras de cobre son pobres conductores para la construcción interna de supresores de transitorios.
2. Los transitorios son perturbaciones de alta frecuencia.
3. La inductancia de los cables crea una caída de voltaje.
4. Aumentar el calibre de los conductores no reduce significativamente los efectos inductivos.
5. A mayores frecuencias, los cables conductores tienen autoinductancia.
6. El área que enlaza los conductores crea una alta inductancia mutua.
7. La autoinductancia e inductancia mutua incrementan el voltaje remanente de salida.

○ ***Requerimientos para especificar un dps.***

Para especificar un DPS, se requiere reunir la siguiente información:

Uso de la instalación.

- ✓ Residencial
- ✓ Comercial
- ✓ Industrial

Ubicación del DPS.

- ✓ Categoría A para punto de uso
- ✓ Categoría B: Tableros de distribución
- ✓ Categoría C: Tableros generales y entrada del servicio.

Tipo de instalación.

- ✓ Monofásica
- ✓ Bifásica
- ✓ Trifásica

Tensión de operación.

- ✓ 120V
- ✓ 120/240V

- ✓ 120/208V
- ✓ 277/480V
- ✓ 347/600V

Conexión del devanado secundario del transformador.

- ✓ Estrella
- ✓ Delta

Características específicas del DPS.

- ✓ Módulos reemplazables o Compacto.
- ✓ # de modos de protección (Línea-Neutro, Línea-Tierra y Neutro-Tierra).
- ✓ Contador de transientes.
- ✓ Alarma audible.
- ✓ Alarma visible.
- ✓ Grado de protección del encerramiento (Nema tipo 1,12, 3R, 4x).
- ✓ Filtros de ruido.

Corriente nominal de descarga (valor dado en kA).

Máxima corriente de descarga (valor dado en kA).

Nivel de protección en tensión (medida en Voltios de la tensión de limitación del DPS por cada uno de los modos de protección).

Máxima tensión de operación Continua (MCOV dado en Voltios).

Capacidad de Corto Circuito (SCCR dado en kA).

- ***Consideraciones de instalación.***
- ✓ Es importante que el instalador tome las medidas de seguridad correspondientes antes de realizar cualquier conexión eléctrica de acuerdo a los reglamentos técnicos locales para trabajos en instalaciones eléctricas.
- ✓ La persona que va realizar la instalación deberá tener el conocimiento técnico para realizar la correcta conexión del equipo.
- ✓ Los tableros o equipos a proteger deben estar desenergizados en el momento de la instalación del DPS para realizar las conexiones del mismo.
- ✓ El DPS se instalará lo más cerca posible al tablero de distribución que se va a proteger. La recomendación es no más de 1mtl.

- ✓ El cableado de los DPS debe hacerse a través de conductores multifilares y sin ángulos rectos en su recorrido (curvas suavizadas).
- ✓ Se debe garantizar un buen sistema de puesta a tierra en la instalación para el correcto funcionamiento de los DPS
- ✓ Antes de energizar el DPS el instalador debe hacer una limpieza de los residuos que queden producto de la instalación.
- ✓ Los DPS también son conocidos como TVSS (Transient Voltage Surge Supressor, término discontinuado), SPD (Surge Protective Device, por sus siglas en ingles), Picoprotectores o supresores de picos. El termino avalado por la UL actualmente es dispositivo de protección contra sobretensiones DPS o Surge Protective Device SPD y localmente por el RETIE son conocidos como DPS.

3.2.1 Aplicaciones de las normas NTC 4552, BS 6651, NFPA 780 y IEC 61024-1.1 a casos reales.

Siguiendo con el orden en que se han desarrollado el estado del arte de las normas a continuación se presentaran los casos de estudio correspondiente a las norma NTC 4552, BS 6651, NFPA 780 y IEC 61024-1.1, el propósito de estos casos es dar a conocer como solucionan la problemática de las protecciones contra las descargas atmosféricas desde diferentes puntos de vista, es importante tener en cuenta que en nuestro país se ha desarrollado la norma NTC 4552 que es una mezcla de diferentes puntos de vista a nivel mundial, basados en principios científicos aprobados y argumentos técnicos incuestionables.

3.2.1.1 Caso 1: Cine domo Maloka.

Localización: Bogotá, Colombia.

Ubicación geografía: 74°4'9" Longitud O 4°36' Latitud N.

Uso de la estructura: Proyección de películas educativas.

Capacidad: 320 personas.

Área de la estructura: 804 m².

Altura de la estructura: 18 m.

Estructura de aluminio – concreto.

3.2.1.1.1 Aplicación de la norma NTC 4552.

Evaluación de la necesidad de un sistema de protección contra rayos:

- ✓ valor de densidad de rayos: se toman proporcionados por el sistema de medición y localización de rayos TSS420 del programa PAAS-UN arrojando un promedio anual de 2 rayos por km^2 -año .
- ✓ Corriente pico absoluta promedio: se realiza utilizando la distribución de frecuencia acumulada de amplitudes de corriente de rayos según el comité Cigre, 1979, Colombia es un país tropical, por ende se pueden esperar valores de parámetros de rayos superiores a los de otras latitudes – por esto se recomienda utilizar para diseño de protección contra rayos con una baja probabilidad de ser superados buscando encontrar un rango de valores para el riesgo, entre el 20 y el 50 % de la probabilidad como lo muestra la *tabla 29*.

Probabilidad	Corriente pico (kA)
50%	30kA
20%	50kA

Tabla 29. Relación de probabilidad y corriente pico.

- ✓ Índice de riesgo para rayos: el valor de índice relacionado con el uso de la estructura corresponde a una estructura donde pueden haber un gran número de personas asignando el valor máximo de (40).

Por otro lado el relacionado con el tipo de estructura como es un material construido aluminio y concreto clasificado como mixta tiene un valor asignado de (20).

Los valores de índices relacionados con la altura y el área se le dan índice al valor mínimo de (5).

A continuación se tiene en cuenta la altura y el área de estudio: área 780 m^2 y altura 15.75 m^2 . Sumando los índices relacionados con la estructura se obtiene la gravedad que puede presentar la estructura en la *tabla 30*:

Suma de índices de gravedad	Gravedad
0 a 35	Leve
36 a 50	Baja
51 a 65	Moderada
66 a 80	Alta
81 a 100	Severa

Tabla 30. Índices de riesgos que representa la estructura.

Escogiendo en la tabla el valor del nivel de gravedad se establece el factor de riesgo en la matriz de la *tabla 31*.

Gravedad					
Promedio	Severa	Alta	Moderada	Baja	Leve
Leve					
Baja					
Moderada					
Alta					

Alto
 Medio
 Bajo

Tabla 31. Niveles de gravedad.

Según la norma técnica colombiana NTC -4552, para un factor de riesgo medio se debe instalar protección externa e interna.

3.2.1.1.2 Aplicación de la norma NFPA 780:

✓ La determinación del riesgo se observa en la *tabla 32*:

Valor de R	Valor de riesgo
0 – 2	Bajo
2 – 3	Bajo a moderado
3 – 4	Moderado
4 – 7	Moderado a severo
Superior a 7	Severo

Tabla 32. Determinación de riesgo.

Evaluación de riesgo: $R = \frac{A+B+C+D+E}{F}$

Índice A: Tipo de estructura. Se refiere al uso para el que se destina. Valor 9.

Índice B: Tipo de construcción. Se refiere al material con el que está construida. Valor 1

Índice C: Ubicación relativa. Se refiere a las características alrededor de la estructura en estudio menores a 929 m². Valor 1

Índice D: Topografía. Ubicación del terreno plano, Valor 1

Índice E: Ocupación y contenido de estructura. Estructura ubicada por un número mayor a 50 personas. Valor 6.

Índice F: Frecuencia de descargas atmosféricas -nivel cerámico. EL nivel peruano promedio multianual en la ciudad de Bogotá 80 (superior a 70). Valor 1.

$$R = \frac{9+1+1+1+6}{1} = 18$$

Por ser el riesgo superior a 7 es clasificado como severo. Esta norma no relaciona la protección que se debe utilizar para ningún riesgo, es decir, no utiliza la evaluación de riesgos para diseñar el sistema de protección.

3.2.1.1.3 Aplicación de la Norma IEC 61024.1.1

- ✓ Frecuencia de descargas a la estructura N_c : Tiene en cuenta número de personas que se encuentra en la estructura (3000 personas), el valor de los equipos que pueden haber y los valores medidos de la densidad de rayos a tierra en la ciudad de Bogotá (2 rayos por km^2 -año). Se asume un valor proporcional al área de la estructura ya que de esta manera se da el valor crítico para N_c .

$$N_c = 2(\text{rayos por } km^2 - \text{año}) \times 7.06 \times 10^{-4} (km^2) = 1.4 \times 10^{-3} \text{ rayos} - \text{año}$$

Aproximando a los datos de las curvas, se escoge un valor de $N_c = 10^{-3} \text{ rayos} - \text{año}$

- ✓ Frecuencia esperada de rayos directos:

$$N_d = N_g \times A_e \times 10^{-6} \text{ por año}$$

N_g : Densidad de rayos a tierra en la región donde la estructura está ubicada, expresada en rayos por $km^2 - \text{año}$.

A_e : Es el área equivalente (área de la superficie de la tierra, el cual tiene la misma densidad que la estructura, dándole importancia también a las estructuras cercanas; si la distancia a la estructura es menor que $3x(h + h_s)$, donde h es la altura de la estructura en consideración y h_s la de la estructura cercana) en m^2 .

$$R = \frac{d + 3x(h_s + h)}{2}$$

D: distancia horizontal entre la estructura en consideración y la cercana a ella.

A continuación se muestran las estructuras adyacentes por estar a una distancia menor de $3x(h + h_s)$.

Estructura	Distancia (m)	Altura (m)	X_s (m)
Conjunto residencial 1	24	25.2	$X_{s1} = 26.35$
Conjunto residencial 2	69	26	$X_{s2} = 51.49$
Prisma	73	14.7	$X_{s3} = 34.64$
Torre de iluminación	12	20	$X_{s4} = 12.45$
Asta de banderas	25	19	$X_{s5} = 17.45$

Tabla 33. Muestra las estructuras adyacentes por estar a una distancia menor de $3x(h+h_s)$.

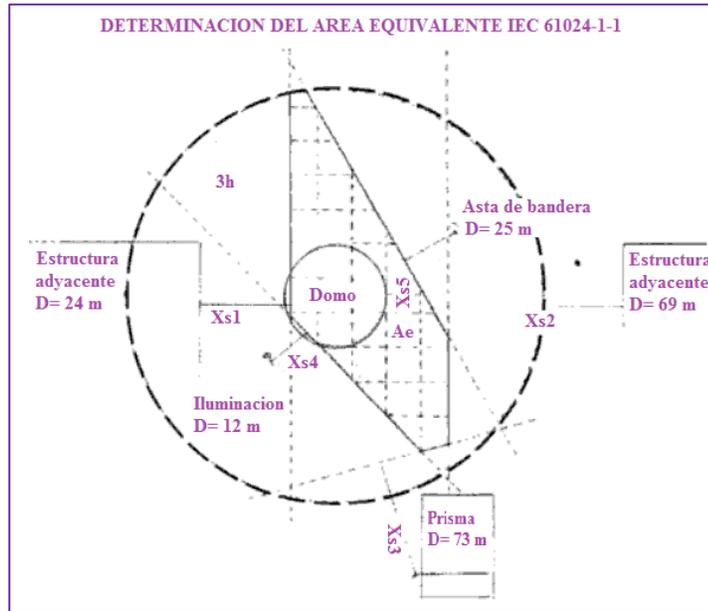


Figura 17. Determinación del área equivalente IEC 610.1.1.

Calculo de área equivalente es $A_e = 2700m^2$.

$$N_d = 2(\text{rayos por } km^2 - \text{año}) \times 2700m^2 \times 10^{-6} = 5.4 \times 10^{-3} \text{ rayos por año}$$

Comparando N_d (Frecuencia esperada de rayos directos) con N_c (Frecuencia admitida de descargas a la estructura) se ve que $N_d > N_c$.

Según la norma IEC 61024-1-1, se necesita un sistema de protección con una eficiencia de

$$\varepsilon \geq 1 - \frac{N_c}{N_d} \geq 81.48\%$$

De acuerdo a la tabla 6 (buscar) el sistema contra rayos en función de N_d y N_c , corresponde al nivel IV.

3.2.1.1.4 Aplicación de la norma BS-6651-1992.

✓ Determinación de área efectiva:

$$A_e = A_s + C_{sg} + C_{as} + C_{mp} + C_{dl} \quad (22)$$

A_s : Área de la planta de la estructura.

C_{sg} : Área conjunta de la tierra, tomando la resistencia del suelo de $100\Omega/m$. Para que no existan acoples resistivo que pudiera ser nocivo por defectos de descargas indirectas ($D=100m$). El área de la tierra conjunta es $31.416m^2$.

C_{as} : Área de estructuras adyacentes, La estructura como no tiene conexiones eléctricas con estructuras adyacentes es ($0 m^2$).

C_{mp} : Área conjunta de las entradas y salidas de alimentación de energía. La alimentación de la estructura debe estar separadas de la misma a una distancia de 70m.

El área conjunta es ($70m \times 2 \times 100m = 14.00m^2$)

C_{dl} : Área conjunta de redes de datos llevando a tierra la referencia de la edificación.

A esta edificación como no llegan redes de datos el área en conjunta es ($0m^2$)
Ahora remplazando en la *ecuación (22)*

$$A_e = (774 + 31.416 + 0 + 14.00 + 0)m^2 = 46.190m^2$$

✓ Determinación de la probabilidad de impacto:

$$P = A_e \times N_g \times 10^{-6} = P = 46.190m^2 \times 2(\text{rayos por } km^2 - \text{año}) \times 10^{-6}$$
$$P = 0.092 \text{ rayos} - \text{año}$$

Índice F. Tipo de estructura (edificios con protección contra rayos y unión equipotencial según la BS 6651-1992.

Índice F: 1

Índice G: Grado de aislamientos.

Estructura localizada en una gran área de estructuras de igual o mayor altura).

Índice G: 04.

Índice H. Tipo terreno.

Plano a cualquier nivel.

Índice H: 0.3.+

La determinación del riesgo total se observa en la siguiente ecuación jj

$$R = P \times F \times G \times H = 0.092 \times 1 \times 0.4 \times 0.3 = 0.011$$

- ✓ Clasificación de pérdidas: La evaluación de riesgo para el diseño de la protección interna tiene en cuenta daños y pérdidas sobre equipos eléctricos y electrónicos, dejando en un segundo plano la protección de vidas humanas, puesto que este lo cubre es el diseño de la protección externa.

Se clasifican las pérdidas en la categoría de edificios comerciales o industriales con procesamiento de datos, donde el daño de un equipo o la salida de operación del sistema eléctrico causa problemas significativos. Teniendo índice de 2. En la *tabla 29* se puede determinar el nivel de exposición:

Clasificación de pérdidas	Nivel de exposición R			
	< 0.005	0.005 - 0.0499	0.05 - 0.499	> 0.5
1	Despreciable	Despreciable	Bajo	Medio
2	Despreciable	Bajo	Medio	Alto
3	Bajo	Medio	Alto	Alto
4	Medio	Alto	Alto	Alto

Tabla 29. Nivel de exposición según la clasificación de pérdidas.

3.2.1.1.5 *Evaluación de sobretensiones.*

El sistema domo del centro Maloka las sobretensiones por descargas directas o indirectas no es muy alto por las siguientes características:

Disposición física de la instalación eléctrica: Toda la instalación eléctrica de Maloka es realizada por bandejas, evitando con esto bucles o lazos cerrados entre cables de suministro de energía y cables de control (sonido, imágenes e iluminación).

El sistema de puesta a tierra está conectado a la estructura.

La estructura es metálica conectada a tierra formando una jaula de Faraday protegiendo todo su interior contra efectos causados por campos electromagnéticos producidos por descargas atmosféricas.

3.2.1.1.5.1 **Sobretensiones debido a descargas eléctricas indirectas.**

Para esto vamos a utilizar la *ecuación 23* utilizada para las sobretensiones transitorias inducidas por acoples magnéticos causados por impactos de rayos cercanos para un lazo cerrado que se crea entre los cables de control del sistema de audio mostrados en *figura 18*.

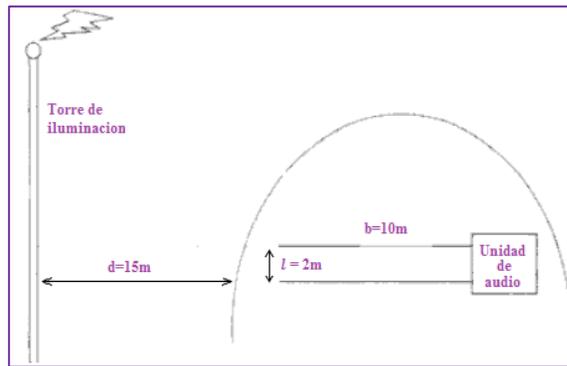


Figura 18. Ubicación de distancias en lazo cerrado.

$$U = \frac{\mu_0}{2\pi} x \frac{di_l}{dt} x l x \ln \frac{d+b}{d} \quad (23)$$

$$U = \frac{4\pi x 10^{-7} \left[v \cdot \frac{s}{Am} \right]}{2\pi} x 10 [kA/\mu s] x 2 [m] x \ln \frac{15 + 10}{15}$$

3.2.1.1.5.2 Sobretensiones debido a descargas eléctricas directas (ANSI/ IEEE C62.41).

En la estructura de Maloka esta son despreciables puesto que la jaula de Faraday tiene varios bajantes que anulas las componentes de campo magnético causante de las sobretensiones en los lazos cerrados.

Evaluación del sistema de protección.

Para las protecciones internas se utilizó en el cine domo la norma ANSI/ IEEE C62.41 con el fin de complementar el estudio en lo referente áreas de protección.

- ✓ El caso típico más desfavorable presentara un SVT de 6.000 voltios dentro de un sistema de distribución en un edificio.
- ✓ En subestaciones la corriente de rayo n será mayores a 10000 A.
- ✓ El caso más desfavorable de transitorios para redes de comunicaciones de datos, señales y telefonía es menos fácil de cuantificar, pero basado en las recomendaciones de la CCITT el peor caso es de 5000 voltios.
- ✓ El factor de riesgo de acuerdo a la norma NTC 4552, da como resultado un nivel alto., lo cual según la norma es necesario protección externa e interna.

3.2.1.1.5.3 Protección externa.

Sistema de interceptación de rayos.

Interceptan los rayos cercanos y directos a la estructura. En nuestro caso no poseen este sistema y es por esta razón que va hacer más robusto la protección interna. Por otro lado por la forma de la estructura y el material en que se construyo va a ofrecer múltiples caminos de corrientes en caso de un impacto directo y para finalizar tenemos la puesta a tierra que ayudara a la seguridad del personal y de los equipos en caso de la incidencia de una descarga, está conectado a la estructura y donde todas las partes no portadoras de corriente están conectadas a través del barraje equipotencial esto se hace para evitar efectos debidos a impactos directos de rayos a la estructura y a su vez un camino de baja resistencia.

La instalación eléctrica cumple con los requerimientos técnicos, un barraje equipotencial con el cual se obtiene un potencial común y se logra que la instalaciones se eleven al mismo potencial evitando diferencias de potencial peligrosas.

3.2.1.1.5.4 Protección interna.

Para personas, las estructuras y equipos va a cubrir los efectos causados por inducción o conducción que se pueden generar a través de acometidas eléctricas, redes telefónicas y datos.

Aquí la norma ANSI C62.41 lo que recomienda es dividir la edificación en sectores de protección en este caso el cine domo está conformado por:

- ✓ Protección primaria: Ductos y conductores no energizados se conectaron al barraje equipotencial al igual q los conductores de fase pero estos a través de descargadores.
- ✓ Protección secundaria: Protección a la entrada de las líneas telefónicas o de datos para proteger los equipos, dependiendo del tamos del transitorio y de la localización puesto que debido a la impedancia de los cables y la división de la corriente la señal transitoria se atenúa a medida que viaja dentro de la instalación , mencionada en la norma ANSI/ IEEE C62.41:

Categoría C: Definida como:

Fuera de la edificación

Al lado de la alimentación principal, entrando al tablero de distribución de baja tensión, al lado de carga en un tablero de distribución que alimenta otra edificación o un equipo.

Categoría B:

En sistema distribución entre el lado de la carga del tablero principal y una toma.

Dentro de aparatos no están alimentados desde una toma.
 Tableros de distribución localizados a 20 m de un cable categoría C.
 Equipos conectados o protegidos localizados a 20 m de un cable categoría C.

Categoría A:

Equipos conectados o protegidos a más de 20 m de un cable categoría C
 Las protecciones sobre redes de datos como no son atenuadas por el cable deben referirse a la localización categoría C

Según al ANSI/ IEEE C 62.41-2002, los valores recomendados de protección de acuerdo con la categoría de localización y forma de onda se presentan a continuación en la *tabla 34*.
 Se va a tomar una forma de onda transitoria de 10/700 μ s.

Categoría	1.2/50 μ s[KV]	8/20 μ s [KA]	0.5 μ s	100 KHz
C1	6	3	*	*
C2	10	5	*	*
C3	20	10	*	*
B1	2	1	170 ^a	2KV
B2	4	2	330 ^a	4KV
B3	6	3	500 ^a	6KV
B1	*	*	2KV	70A
B2	*	*	4KV	130A
B3	*	*	6KV	200A

Tabla 34. Localización de categoría de localización y forma de onda.

En el punto anterior se estima la posible sobretensión debido a un impacto de un rayo cercano a la estructura, La localización de la norma es de categoría A, en donde se han hecho pruebas de onda de tipo toque, subdividiendo la categoría de acuerdo con la amplitud del transitorio, subdividiéndose la categoría de localización en tres clasificación que van desde 1 hasta 3.

Teniendo en cuenta que la sobretensión estimada es de 2 kV, se puede ubicar la protección en la categoría A1, la protección debe estar especificada para este tipo de onda y de amplitud.

3.2.1.2 Caso 2: hemeroteca nacional.

Para evaluación de la necesidad de implantar un sistema de protección contra rayos para la estructura de la hemeroteca Nacional Universitaria realizo un estudio comparativo con la norma NTC 4552 con la BS 6651, IEC 1024-1-1 y el código NFPA 780.

3.2.1.2.1 Aplicación NTC 4552

Se analiza el numeral 7.1 que es sobre el factor de riesgos contra rayos.

El factor de riesgo se utiliza para ver la necesidad de un sistema de protección contra rayos. Debido a que existe mayor probabilidad de que una estructura se vea afectada dependiendo a la cantidad de descargas atmosféricas a la que esta expuesta, que la densidad de la misma. Por esta razón se toman proporciones de 0,7 para el DDT y 0,3 para la I_{abs} para obtener la ecuación:

$$R = 0,7 \times R_{DDT} + 0,3 \times R_{Iabs}$$

Dichos parámetros (obtenidos a partir de datos multianuales a través del sistema de localización de rayos TDD420 del grupo PAAS_UN), son:

- ✓ densidad de descarga a tierra, DDT y R_{DDT} .

Densidad de rayos a tierra: $2 \frac{\text{descarga}}{\text{km}^2} \text{año}$

- ✓ Corriente pico absoluta promedio I_{abs} , R_{Iabs}

Corriente pico absoluta promedio: 40KA

$$R = 0,7 \times R_{DDT} + 0,3 \times R_{Iabs}$$

A continuación en la **tabla 35** se muestra la valoración de riesgo para dos parámetros:

Índice de Riesgo por Rayos		
Densidad de descarga a tierra		Corriente pico absoluta promedio
		Menor o Igual a 40KA
	R_{Iabs} R_{DDT}	1
DDT < 5	0.25	0.475

Tabla 35. Índice de riegos.

Este índice es considerado moderado.

Los índices relacionados con la estructura: suman valores de la estructura como uso, tipo, combinación de altura y área para obtener la gravedad que para el caso de la hemeroteca Nacional se va encontrar según la norma entre las siguientes clasificaciones ver **tabla 36**:

Los índices de la estructura: suman valores de la estructura para obtener la gravedad presente.

Uso de la estructura hallado a través de *tabla 36*:

Clasificación de la estructura	Uso de la estructura	Valor índice
Estructuras de uso común	Teatros, colegios, escuelas, iglesias, supermercados, centros comerciales, hospitales, prisiones, ancianitos, jardines , guarderías, hoteles	40
	Bancos, compañías, aseguradoras, industrias, museos, bibliotecas, sitios históricos y arqueológicos	20

Tabla 36. Clasificación de uso de estructura.

Como la Hemeroteca Nacional es un lugar similar a un colegio, por la presencia continua de estudiantes y por ser una biblioteca se le da un valor de índice medio de 30, al clasificarlo según la norma se obtiene un valor índice relacionado con el tipo de estructura no metálica de 40.

Ahora el valor índice relacionado con la altura y el área de la estructura es:

Area de la Hemeroteca Nacional

Largo: 80,34m

Ancho: 40,05m

Altura: 20,00 m

Area: 3217,6m²

El valor relacionado con la altura y el área de la estructura sacado de tablas de la norma:

Altura y Area de estructura	Valor Índice
Area mayor a 900 m2 Altura menor a 25 m	10

El valor de índice de la tabla 37 varia porque alrededor de la Hemeroteca se encuentran unos arboles de altura similar, tomando un valor de índice de 15.

Al sumar los valores de índices obtenidos por el uso, el tipo y combinación de área y altura se obtiene la siguiente gravedad.

$$\text{Gravedad} = 30 + 40 + 15 = 85$$

Con esto vamos a la tabla de la norma y se obtiene el siguiente resultado:

Suma de niveles de gravedad	Gravedad
81 a 100	Severa

Ahora aplicando la matriz del factor de riesgo y teniendo los parámetros de la zona de la gravedad, se obtiene:

FACTOR DE RIESGO	
Gravedad Parametros	Severa
Moderados	FR= Alto

Como el factor de riesgo es alto es necesaria la instalación de un sistema de protección contra rayos, externo como interno y un sistema de puesta a tierra.

Aplicación de la norma técnica IEC 61024-1

Lo primordial es saber que el valor del índice de riesgo siempre se va a realizar según las normas del país donde se trabaja, en el caso de la Hemeroteca se considera que al aplicar el índice de gravedad, calculado a través de la NTC 4552, tomando una escala de la valoración y relacionándolos con el uso, tipo, área y altura de la estructura, los valores son:

Valor índice relacionado con la estructura es: 3×10^{-4} , es la relación del uso de la estructura

Valor índice relacionado con la estructura no metálica es: 4×10^{-4}

Valor del índice relacionado con la altura y el área de la estructura es: 1×10^{-4} , para áreas mayores a 900m² y altura menor de 25m

$$N_c = 3 \times 10^{-4} + 4 \times 10^{-4} + 1,5 \times 10^{-4} = 8,5 \times 10^{-4}$$

Comparando N_d y N_c , obtenidos para la estructura $N_d > N_c$, en donde la IEC-61024-1-1 establece que tiene que llevar un sistema de protección contra rayos con una eficiencia de:

$$E > 1 - N_d/N_c \quad (24)$$

Donde:

N_d : Promedio anual de frecuencias de descargas

N_c : Sumatoria de valores índices tenidos en cuenta, aclarando que es responsabilidad de cada país su valoración.

Para calcular N_d es necesario realizar el producto de la densidad de rayos a tierra N_g y el área equivalente colectiva A_e , se define como un área de superficie de tierra que tiene la misma frecuencia anual de las descargas directas de la estructura.

En este caso sería el área encerrada entre el borde de la línea b1 obtenida de la intersección entre la superficie de tierra y una línea recta con pendiente 1:3, la cual pasa por la parte superior de la estructura y rota alrededor de ella.

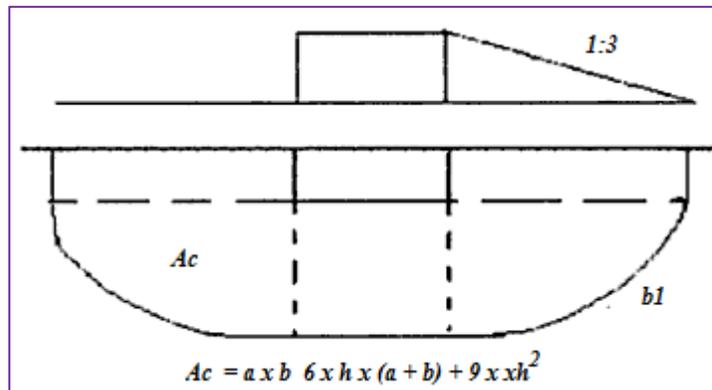


Figura 19. Estructura Hemeroteca aislada.

$$A_e = 80.34 * 40.405 + 6 * 20(80.24 + 40.04) + 9 * 3.1416 * 20^2$$

$$A_e = 28.924 \text{ m}^2$$

$$N_d = N_g * A_e$$

N_d : 0,058 y $N_c = 8,5 \times 10^{-4}$ utilizando ecuación (24) se obtiene

$E > 0,98$, correspondiendo a un sistema de protección nivel I

3.2.1.2.2 *Calculo de sobretensiones inducidas.*

Para este cálculo se tienen en cuenta lo siguiente:

Impacto cercano

Impacto directo

Considerando 3 equipos dentro del auditorio que se encuentran sometidos a estas sobretensiones y que por tanto deben de ser protegidos.

Equipos de trabajo
 Computador
 Línea telefónica (conector y equipo telefónico)
 Equipo de proyección

✓ Sobretensiones inducidas por impacto cercano

$$U = \mu \times S_{lb} \times \frac{H_m}{T_l} \quad (25)$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \left(V \frac{S}{A} m \right)$$

S_{lb} : Area del lazo cerrado que forma cada uno de los equipos.

H_m : Intensidad de campo magnetico de la estructura, para la norma IEC, para una clase de protección I (eficiencia del 98%) es del orden de los 32 KA/m para la primera descarga de retorno.

T_l : Tiempo de frente de la corriente de rayo, elige de una onda que tiene 10µs de frente.

✓ Sobretensión sobre un computador:

El computador está conectado a una toma sobre el piso, en un escritorio a 1 m de nivel y con un ancho aproximado a 1 m.

$$U = 4\pi \cdot 10^{-7} \times 1m^2 \times 3,2 \frac{KA}{m} \mu_s = 4021V$$

✓ Sobretensión en la línea telefónica:

Cable conectado a 60cm es el área del lazo por encima de su conector y un ancho de 40 cm sobre el plano horizontal.

$$U = 4\pi \cdot 10^{-7} \times 0,24m^2 \times 3,2 \frac{KA}{m} \mu_s = 965V$$

✓ Sobretensión en un equipo electrónico de proyección de conferencia

Considera 1 m sobre el piso y un ancho de 50cm.

$$U = 4\pi \cdot 10^{-7} \times 0,5m^2 \times 3,2 \frac{KA}{m} \mu_s = 2010V$$

3.2.1.2.2.1 **Sobretensiones inducidas por impacto directo.**

Las sobretensiones inducidas por acoples magnéticos causados por impactos directos de rayos puede ser estimado por:

$$U = \frac{\mu_0 I_l}{40T_l} l \ln \frac{d+b}{d} \quad (26)$$

d : distancia de bajante al plano formado por el quipo a proteger.

l y b : dimensiones del lazo definido.

I_l : Corriente del rayo kA, que para el tipo de protección clase I es 200.

Para el caso de la hemeroteca se considera dos bajantes laterales.

- SOBRETENSIONES SOBRE EL PC.

Se calculan las sobretensiones debidas a cada una de los bajantes ya que la distancia d cambia por la posición especial del equipo en el auditorio.

✓ Sobretensión debida al bajante de la vertical derecha.

De la encontramos por Pitágoras y de acuerdo con las dimensiones del plano son:

$$d^2 = 10^2 + 16.71^2 = 19,47m$$

$$U = \left(4\pi \frac{10^{-7} 200KA}{40 \times 10 \mu_s} \right) 19m \ln \frac{21,47}{19,47} = 614,38V$$

✓ Sobretensión debida a la bajante vertical izquierda

$$d^2 = 10^2 + 57.63^2 = 58,5m$$

$$U = \left(4\pi \frac{10^{-7} 200KA}{40 \times 10 \mu_s} \right) 10m \ln \frac{60,5}{58,5} = 211,22V$$

- SOBRETENSION EN LA LINEA TELEFONICA.

✓ Sobretensión debida a la bajante de la vertical derecha

$$d^2 = 10^2 + 19.71^2 = 22,10m$$

$$U = \left(4\pi \frac{10^{-7} 200KA}{40 \times 10 \mu_s} \right) 10m \ln \frac{24,5}{22,10} = 647,77V$$

✓ Sobretensión debida a la bajante de la vertical Izquierda

$$d^2 = 10^2 + 54,63^2 = 55,53m$$

$$U = \left(4\pi \frac{10^{-7} 200KA}{40 \times 10 \mu_s} \right) 10m \ln \frac{57,93}{55,53} = 265,85V$$

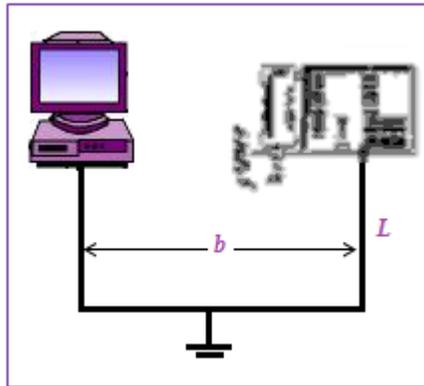


Figura 20. Esquema de lazos cerrados formados por los equipos que se van a proteger. Lazo inductivo formado por el pc y el cable telefónico.

Luego de estudiar los diferentes casos en los entornos electromagnéticos especificados, se identificó las dificultades y puntos a tener en cuenta, estableciéndolos en las posteriores recomendaciones.

El buque nodriza debe mejorar su sistema de puesta a tierra y efectuar el aterrizamiento de sus equipos.

En general durante el proceso de investigación se apreció que muchos de los fabricantes de dispositivos eléctricos como supresores de picos o sobretensión transitoria aún se rigen por normas no actualizadas, ya que los usuarios o consumidores manejan mitos que las actualizaciones anteriores o la primera publicación de las normas es la confiable sin ninguna base sólida, entonces se invita a todo lector que como usuario al comprar verifique la actualización de las normas para que los fabricantes se vean obligados a renovar sus productos, teniendo en cuenta que la actualización de una norma no solo agrega nuevos métodos sino que hace claridad y énfasis en la malas interpretaciones por parte de los fabricantes y usuarios.

De manera específica, por escenarios estudiados se presentan las siguientes conclusiones según el orden que se ha venido desarrollando, es decir, calidad de energía en buques fluviales y sistemas eléctricos de baja tensión.

El estudio del buque nodriza los niveles de emisión de los equipos considerados como las fuentes de ruido más importantes del buque no son las que están causando las interferencias encontradas, si no que el problema de compatibilidad se encuentre en los bajos niveles de apantallamiento y el aterrizamiento de equipos no críticos

Realizadas las pruebas de los equipos críticos y tabulando los datos de las pruebas anteriormente mencionadas se pueden llegar a las siguientes conclusiones:

- ✓ En la prueba de descargas por contacto directo y aire, los equipos no presentaron variaciones durante su funcionamiento en la prueba salvo el sistema de radar el cual sufría un bloqueo que obligaba a reiniciar el sistema, después de finalizada las pruebas los equipos no presentaron desperfectos físico ni errores aparentes de funcionamiento del sistema.
- ✓ En general todos los equipos de comunicaciones ante una interrupción de potencia superior al 40% de la potencia operativa requieren ser reiniciados, sin embargo después de ser reinicializados estos equipos vuelven a su normal operación y no presentan fallas operativas aparentes.
- ✓ Al momento de realizar la inyección de transitorios eléctricos rápidos no presentaron problemas en su operación bajo la condición indeseable salvo el radar el cual presentaba bloqueos y debía reiniciar para tener el equipo en funcionamiento normal.
- ✓ Para el caso del buque pesquero, las antenas HF operando simultáneamente a la misma banda de frecuencia produce variación en uno de los patrones de radiación y disminución de la ganancia (Intervalo de 16 %- 19 %), debido al entorno de operación de las antenas.

- ✓ El sistema de comunicaciones no presentara mayores problemas de compatibilidad puesto que no variaba los parámetros básicos de los equipos tales como potencia de radiación, indiferentemente de la situación de trabajo y la disposición de las antenas sobre el mástil o el puente de la nave.

En los sistemas eléctricos de baja tensión se puede afirmar que la calidad del servicio es una responsabilidad conjunta del usuario, la empresa de electricidad y los fabricantes de los equipos. Por ende la empresa de electricidad debe proveer una adecuada calidad del servicio de acuerdo con las normas y expectativas del usuario. Los fabricantes deben conocer el ambiente eléctrico en el que operarán sus equipos y a su vez el usuario puede anticiparse a las necesidades de protección que requieren estos equipos.

- ✓ Los picos de voltaje son uno de los problemas más comunes que enfrentan todas las instalaciones de las empresas, resultando en pérdida de seguridad, daño en equipos, tiempo perdido de operación y menor productividad. Para una protección efectiva contra picos, la IEE recomienda la aplicación en cascada de TVSS, esta solución, en conjunto con una instalación adecuada de otros elementos de protección como UPS garantiza la operación continua de sus actividades.
- ✓ La evaluación de riesgo es el elemento para diseñar un sistemas importante en el procedimiento para diseñar un sistema de protección contra rayos y especialmente en el procedimiento de la selección del nivel de protección, la NTC cumple con efectividad y sencillez, puesto que la IEC y la británica difieren de la colombiana en cuanto el procedimiento, las evaluaciones hechas en este y muchos otros trabajos de diseño de protección de estructuras contra rayos muestran una mayor sencillez en el cálculo de riesgo con resultados similares a las europeas a continuación vemos una de las ventajas principales.
- ✓ Se consideran 2 parámetros, la magnitud probable de la corriente pico del rayo y la densidad de descargas a tierras otros países consideran en la evaluación del riesgo solamente la densidad de descargas a tierra en lo mejor de los casos.
- ✓ Se considera la latitud del lugar donde está ubicada la estructura por proteger, con lo cual se tiene en cuenta la variación de los parámetros del rayo respecto al espacio.

- ✓ La guía de seguridad que ayuda a reducir los posibles daños ante descargas eléctricas norma NFPA 780, en la parte de evaluación de riesgo por rayos tiene poca aplicación en Colombia debido al alto peso que se le da al nivel ceráuneo para valores superiores a 70, en el caso de Colombia supera este valor, por tanto el valor de riesgo al aplicar la norma americana generalmente es severo, es decir no discrimina.
- ✓ Las normas NFPA 780 y IEC 61024.1.1 son las bases a seguir de la norma colombiana realizada en 2004- NTC 45 52, utilizando como complemento la trilogía IEEE/ANSI C62.41.1,-2 y C62.45.
- ✓ La adopción de la trilogía es un paso importante en la unificación aumento de las pruebas. Sin embargo, las pruebas en todo el mundo de las sobretensiones las rigen muchas organizaciones así que la norma continuará cambiando como lo harán las condiciones y requisitos especiales.
- ✓ Al adquirir una perspectiva de estos de las normas de descargas atmosféricas se deduce que siendo estas diferentes, similares y complementarias en diversos aspectos en todas el patrón de selección genérico de los supresores se resumen en tres puntos, la zona (densidad de las descargas atmosféricas a tierra No. De Rayos/km²/año) la categoría o clase (A, B, C o 1, 2, y 3), la magnitud (tensión y corriente) y la forma de onda (10/350μs o 8/20μs).

Rodríguez Domingo. Estudio de Compatibilidad Electromagnética (EMC) en Embarcaciones Fluviales. Caso de Estudio: Buque Nodriza VI, pág. 121, 2007.

Giraldo Yuliana. Evaluación de Compatibilidad Electromagnética radiada en Antenas HF/VHF de un Buque de Acero. Pág. 130, 2011.

IEEE-SA Standards Board. IEEE Std C62.41.1™ - 2002. IEEE Guide on the Surge Environment in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits. Pág. 173, 2002.

IEEE-SA Standards Board. IEEE Std C62.41.2™ - 2002. IEEE Recommended Practice on Characterization of Surges in Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits. Pag. 53, 2002.

IEEE-SA Standards Board. IEEE Std C62.45™ - 2002. (Revision of IEEE Std C62.45-1992). IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits. Pag 94, 2002.

Horacio Torres-Sanchez. El Rayo, Mitos, Leyendas, Ciencia y Tecnología/ Universidad Nacional de Colombia. Bogota D.C. Pág 410, 2002.

Acoplamiento: Conexión entre dos circuitos eléctricos, con transferencia de energía de uno a otro.

Ecosonda: Aparato que mide la profundidad a la que está sumergido un cuerpo mediante la reflexión de un haz de ultrasonidos.

Compás magnético o brújula: es un instrumento que sirve de orientación y que tiene su fundamento en la propiedad de las agujas magnetizadas. Por medio de una aguja imantada señala el Norte magnético, que es ligeramente diferente para cada zona del planeta, y distinto del Norte geográfico. Utiliza como medio de funcionamiento el magnetismo terrestre.

Descarga disruptiva: Física. Descarga brusca que se produce cuando la diferencia de potencial entre dos conductores excede de cierto límite. Se manifiesta por un chispazo acompañado de un ruido seco.

Mandril: Pieza de madera o metal de forma cilíndrica para sujetar lo que se quiere tornear.

Modulación angular: como su propio nombre indica, es la fase (o frecuencia) de la portadora que es modulada, y no la amplitud.

Modulación de amplitud (AM): es un tipo de modulación lineal que consiste en hacer variar la amplitud de la onda portadora de forma que esta cambie de acuerdo con las variaciones de nivel de la señal moduladora, que es la información que se va a transmitir.

Modulación de frecuencia (FM): es una modulación angular que transmite información a través de una onda portadora variando su frecuencia, en donde la amplitud de la onda es variada mientras que su frecuencia se mantiene constante.