

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/237080293>

BAJANTES PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN ESTACIONES DE TELECOMUNICACIONES

Conference Paper · May 2008

DOI: 10.13140/RG.2.1.3893.4569

CITATIONS

0

READS

515

2 authors:



Miguel Martinez-Lozano
Universidad De La Salle Bajío
76 PUBLICATIONS **46** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Luis Diaz
University of Limoges
17 PUBLICATIONS **12** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Effect of Seasonal Variations on the Performance of Distribution Lines [View project](#)



Lightning Transient Voltages in I&M cables of Industrial Sites [View project](#)

BAJANTES PARA SISTEMAS DE PROTECCIÓN CONTRA RAYOS EN ESTACIONES DE TELECOMUNICACIONES

L. Díaz, M. Martínez, J. Rodríguez, J. Ramírez, G. Guillén, E. Da Silva, E. Chirinos, A. Pérez

Resumen— El conductor de bajada de un sistema de protección contra descargas atmosféricas es uno de los elementos fundamentales del sistema y para su implementación existen distintas normativas internacionales que recomiendan una u otra configuración que cumplen con los requisitos mínimos de seguridad de equipos y personas. El presente trabajo revisa distintas normas en miras no sólo de estructurar los diferentes tipos de materiales y configuraciones utilizadas en los conductores de bajada, sino para estudiar su comportamiento térmico, eléctrico y de respuesta en frecuencia ante un impulso de tensión. Para ello, se realizaron los cálculos para estimar la variación de temperatura, la caída de tensión y un experimento sencillo para determinar la respuesta en frecuencia de cada tipo de conductor, a partir de la aplicación de un impulso tipo rayo. Finalmente, se caracterizan las distintas opciones que las normas proponen, dando herramientas que permitan a los diseñadores seleccionar la mejor alternativa para cada caso particular. Específicamente, dicha evaluación permite comparar distintos tipos de conductores compuestos de diferentes materiales, a fin de poder optar por aquellos que minimicen los costos o que alternativamente ayuden a disminuir la sustracción o hurto de éstos componentes en las instalaciones de telecomunicaciones.

Palabras claves— Conductor de bajada, desenvolvimiento térmico, desenvolvimiento eléctrico, impedancia en función de la frecuencia.

I. INTRODUCCIÓN

El sistema de protección contra descargas atmosféricas empleado en las torres de telecomunicaciones está compuesto de tres elementos principales: El elemento captador del rayo, el bajante y el sistema de puesta a tierra. Cada uno de ellos presenta una gama de opciones, con variedad de tecnologías, materiales y costos.

Particularmente el bajante es usual conseguirlo hecho en cobre, material con excelentes propiedades eléctricas y térmicas, pero con un alto costo, lo que lleva a las empresas de telecomunicaciones a invertir una cantidad de recursos importante para su adquisición.

A su vez, el alto valor del cobre sumado a la ubicación y poca vigilancia de las torres de comunicaciones, resulta en un ambiente atractivo al hurto. Lo que deriva en serios problemas económicos para la empresa. Es por ello que en el presente trabajo se estudian distintas opciones de materiales desde el punto de vista técnico que presenten una alternativa al uso de dicho material.

Para la elección del grupo de materiales a considerar se toma como base los permitidos por distintas normativas internacionales de varios organismos como: la Comisión Electrotécnica Internacional IEC (Europa) [1], la Asociación Electrotécnica Argentina [2], la Asociación Nacional de Protección de incendios NFPA (EE.UU.) [3], la Asociación Brasileña de Normas Técnicas [4] y los Estándares Australianos [5].

Una vez revisadas las normativas, se procedió a realizar un estudio técnico de cada material, compuesto de tres aspectos: el cálculo del comportamiento térmico, el cálculo del comportamiento eléctrico y la medición de la impedancia en función de la frecuencia como respuesta al impulso de tres materiales comunes en las normas y uno especial, un conductor relativamente nuevo en el mercado venezolano que está especialmente diseñado para ser utilizado como bajante de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, llamado ERICORE® [6].

Los resultados obtenidos conforman una herramienta comparativa útil a los diseñadores de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, pues les permite evaluar en una gama de opciones recomendadas por las normas internacionales y seleccionar según los requerimientos del proyecto en particular.

II. METODOLOGÍA.

Para realizar el estudio se estructuró el trabajo en cuatro partes, a continuación se enumeran:

- A. Base conceptual.
- B. Cálculo de comportamiento térmico.
- C. Cálculo de comportamiento eléctrico.
- D. Respuesta en frecuencia de la impedancia a partir de un impulso.

Manuscrito enviado el 28 de febrero de 2008.

L. Díaz, M. Martínez, J. Rodríguez, J. Ramírez, G. Guillén, E. Da Silva y A. Pérez, están con la Universidad Simón Bolívar. Laboratorio A. Valle de Sartenejas. Municipio Miranda. Distrito Capital, Venezuela. Tlf. +58-212-9064133, E-mail: diazlg@ieec.org; mmlozano@usb.ve; jrodriguez@usb.ve; jramirez@usb.ve; gguillen@usb.ve; edasilva@usb.ve; jarafi@gmail.com.

E. Chirinos está con Conxweld C.A. Calle 1, Torre Olympia, P- 4, Oficina 4c. La Urbina Tlf. +58-212-241.7104/5440 Fax: +58-212-242.4317/1818.

A. Base conceptual

Las estaciones de telecomunicaciones están compuestas por dos estructuras principales: la torre, que alberga las antenas y las casetas donde se encuentran dispuestos los equipos para el funcionamiento de la estación. La torre suele ser una estructura metálica en celosía con alturas que pueden llegar a los 90m.

Adicionalmente, estas estaciones suelen ubicarse en sitios estratégicos, generalmente relacionados a puntos elevados en la geografía local.

Estos dos aspectos, la altura de la torre y ubicación geográfica hacen que se trate de una instalación altamente vulnerable desde el punto de vista de probabilidad al impacto de descargas atmosféricas. Este hecho es especialmente crítico en Venezuela, por tratarse de un país con alta actividad de descargas atmosféricas a lo largo del año.

La descarga atmosférica nube-tierra, o rayo, es un evento totalmente probabilístico y por tanto de naturaleza aleatoria, por lo que a priori, es difícil conocer sus consecuencias en una situación particular.

Para poder detallar todas estas características en un trabajo de diseño de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, además de la teoría básica detrás del fenómeno, están las prácticas comunes de ingeniería, generalmente plasmadas en documentos conocidos como normas y que pueden ser de ámbito local, nacional o global.

Específicamente en el presente trabajo, se trata de estudiar uno de los componentes del sistema de protección contra descargas atmosféricas, como lo es el bajante.

A partir de este punto se inició una revisión exhaustiva de distintas normas internacionales relacionadas con la protección contra descargas atmosféricas. Las normas revisadas son las mostradas en la Tabla I.

TABLA I
NORMAS REVISADAS

Norma	País	Año
AEA 92305	Argentina	2006
IEC 62305	Europa	2006
NBR 5419	Brasil	2001
NFPA 780	USA	2004
DR 02359	Australia	2002

En Venezuela la normativa que rige estos aspectos es la COVENIN 599, pero data de los años 70, por lo que está totalmente desactualizada y por ende no se utiliza en esta comparativa.

El trabajo realizado se centró e hizo especial énfasis en los materiales que se recomiendan para la instalación de sistemas de protección contra descargas atmosféricas, particularmente en aquellos materiales relacionados con los conductores de bajada. Se detallaron las configuraciones y dimensiones recomendadas y los aspectos más resaltantes a evaluar se describen a continuación.

B. Cálculo de comportamiento térmico

A partir de los datos recavados en dichas normas, es posible calcular la variación de la temperatura en un conductor de bajada al ser impactado por una descarga atmosférica. Tomando como guía la información de la norma IEC 62305 se recomienda el uso de la expresión que sigue [1]:

$$\theta - \theta_0 = \frac{1}{\alpha} \cdot \exp \left[\left(\frac{W}{R} \cdot \alpha \cdot \rho_0 \right) \frac{1}{q^2 \cdot \gamma \cdot C_w} \right] - 1 \quad (1)$$

Donde:

$\theta - \theta_0$: Aumento de temperatura en el conductor (K)

α : Coeficiente de temperatura de la resistencia (1/K)

W/R: Energía específica de la corriente de impulso (J/ Ω)

ρ_0 : Resistividad del conductor a temperatura ambiente. ($\Omega \cdot m$)

γ : Densidad del material (Kg/m^3)

q: Sección transversal del conductor. (m^2)

C_w : Capacidad Térmica del material. (J/K \cdot K)

El valor de todas las constantes inherentes a cada material, se obtiene de la tabla II, también extraído de la IEC 62305 [1].

TABLA II
CONSTANTES FÍSICAS DE CADA MATERIAL

Material	C_w (J/kg \cdot K)	γ (Kg/m 3)	α (1/K)	ρ_0 ($\Omega \cdot m$)	θ_s ($^{\circ}C$)
Cobre	385	8920	3.92E-03	1.78E-08	1080
Aluminio	908	2700	4.00E-03	2.90E-08	658
Acero Galvanizado	469	7700	6.50E-03	1.20E-07	1530
Acero inoxidable	500	8000	8.00E-04	7.00E-07	1500

Mientras que el valor de W/R se obtiene de la expresión [1]:

$$\frac{W}{R} = \int i^2 dt \quad (2)$$

Donde i es la forma de onda de la corriente del rayo. Dicha función puede ser representada por [1]:

$$i(t) = \frac{I}{k} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{10} \cdot \exp\left(\frac{-t}{\tau_2}\right)}{\left(1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{10}\right)} \quad (3)$$

Donde:

I: Corriente pico (kA)

k: Factor de Corrección de la corriente pico.

τ_1 : Constante de tiempo de frente de onda. (μs)

τ_2 : Constante de tiempo de la cola de onda. (μs)

Los valores de las constantes utilizados fueron tomados de las recomendaciones para niveles de protección del tipo I, es decir, el nivel protección más exigente, pues simula la corriente de rayo de mayor energía. Tales valores son [1]:

$$I=200\text{kA} \quad k=0.93 \quad \tau_1=19\mu\text{s} \quad \tau_2=485 \mu\text{s}$$

Además, se utiliza la corriente de 50% de probabilidad de ocurrencia: 31kA con las mismas constantes k, τ_1 y τ_2 .

La integral de la expresión (2) fue calculada utilizando el programa MatchCad 13, a partir de la simulación de la corriente de rayo que sugiere la norma.

Una vez conocidas, la energía específica y las características del material a evaluar, es posible calcular el aumento de la temperatura del conductor para las corrientes mencionadas.

C. Cálculo de comportamiento eléctrico

Otro parámetro importante además del comportamiento de la temperatura en el material, es el comportamiento eléctrico ante descargas atmosféricas. Para ello se utilizó la expresión de caída de potencial:

$$\Delta V = R \cdot I_p + L \cdot \frac{di}{dt} \quad (4)$$

Donde:

ΔV : Es la caída de potencial por unidad de longitud (V/m).

R: es la resistencia a temperatura del ambiente deseado (30°) por unidad de longitud (Ω/m).

L: es la inductancia del conductor por unidad de longitud (H/m).

di/dt : Es la variación de la corriente del rayo en un periodo de tiempo (A/s·m)

I_p : Máxima valor de la función de corriente (A).

Para el cálculo de la resistencia por unidad de longitud se empleó la expresión [1]:

$$R = \frac{\rho_0(1 + \alpha(T - T_0))}{A} \quad (5)$$

Donde:

R: es la resistencia por unidad de longitud (Ω/m).

ρ_0 : Es la resistividad del material ($\Omega \cdot \text{m}$)

α : Es el coeficiente de dilatación lineal del material. ($1/^\circ\text{C}$)

T: Es la temperatura de ambiente deseada, en éste caso 30°

T_0 : Es la temperatura ambiente estándar: 20°C

A: Es el área transversal del conductor. (m^2)

Para la inductancia por unidad de longitud se tomó un valor típico de $1\mu\text{H}/\text{m}$ para los conductores trenzados y de $800\text{nH}/\text{m}$ para las tiras o placas.

La corriente, I, se tomó como el máximo valor que alcanza la corriente del rayo, en éste caso 200 ó 31kA. En miras a determinar la mayor y la más probable caída de tensión por unidad de longitud.

La expresión de la derivada (di/dt) se consideró en el punto de mayor pendiente de la función de tiempo, arrojando un valor de 10.5263 y 1.6316 kA/ μs . También en miras a determinar el material que ofrece la menor caída de tensión por unidad de longitud.

D. Medición impedancia en función de la frecuencia.

Para comparar los materiales bajantes a emplear además de los aspectos térmicos y eléctricos propiamente dichos, es relacionarlos ambos mediante la caracterización del material obteniendo la respuesta en frecuencia de la impedancia total. Para ello, se plantea un procedimiento experimental que permite obtener la respuesta al impulso de la muestra en estudio y posteriormente procesarla matemáticamente para obtener la función Z(f).

El montaje se describe en la figura I y está compuesta por los materiales a evaluar, un generador de impulsos de 1.5kV y un dispositivo para registrar la forma de onda de tensión y corriente. La longitud de las muestras seleccionadas fue de 1,5m.

Los conductores seleccionados para el ensayo fueron: acero trenzado calibre 2/0AWG, cobre trenzado calibre 2/0AWG, una placa de cobre de $3 \times 30\text{mm}^2$ y un ERICORE®; este último es un conductor especialmente diseñado para ser utilizado como bajante, siendo un conductor apantallado, hueco y aislado [6].

Para calcular la Z(f) es necesario una descomposición en frecuencia de las respuestas en corriente I(f), y tensión V(f). Para este caso se utiliza la función *fft* del software Matlab7.0™, que parte del principio de la transformada de Fourier discreta [7].

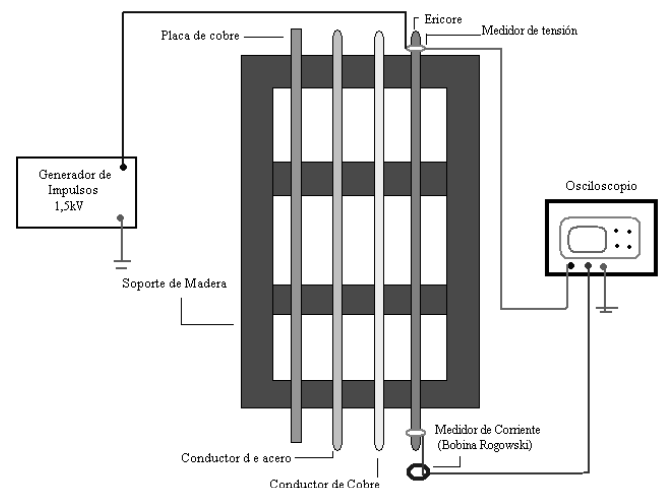


FIG. I: ESQUEMA DE MONTAJE DE MEDICIÓN DE CORRIENTE Y TENSIÓN EN MUESTRAS DE BAJANTES ANTE UN IMPULSO DE TENSIÓN.

Para las mediciones sobre el Ericore® se consideraron distintas conexiones: con la pantalla puesta a tierra en el punto superior, con la pantalla puesta a tierra en el punto inferior (punto B en la figura I) y sin la pantalla puesta a tierra.

III. RESULTADOS.

A. Materiales recomendados por las normas.

A continuación se muestra en la tabla III el resumen con los materiales y configuraciones que las distintas normas revisadas recomiendan para ser utilizados como bajantes en sistemas de protección contra descargas atmosféricas.

TABLA III
MATERIALES Y CONFIGURACIONES PARA CADA NORMA

NORMA	MATERIAL	CONFIGURACIÓN	SECCIÓN (mm ²)
NBR5419 año:2001	Cobre		35
	Aluminio		70
	Acero galvanizado		50
IEC-62305-3 año:2006	Cobre	Tira sólida	50
	Cobre	Cilindro Sólido	50
	Cobre	Trenzado	50
	aluminio	Tira sólida	70
	aluminio	Cilindro Sólido	50
	aluminio	Trenzado	50
	Acero galvanizado	Tira sólida	50
	Acero galvanizado	Cilindro Sólido	50
	Acero galvanizado	Trenzado	50
	Acero inoxidable	Tira sólida	50
	Acero inoxidable	Cilindro Sólido	50
NFPA-780 año:2004	Cobre	Trenzado	29
	Aluminio	Trenzado	50
	Cobre	Tira sólida	29
	Aluminio	Tira sólida	50
	Cobre	Trenzado	58
	Aluminio	Trenzado	97
	Cobre	Tira sólida	58
DR 02359 año:2002	Cobre	Tira sólida	(25*3)
	Aluminio	Tira sólida	(25*3)
	Acero Galvanizado	Tira sólida	(25*3)
	Acero Inoxidable	Tira sólida	(25*3)
	Cobre	Trenzado	35
	Aluminio	Trenzado	35
	Acero Galvanizado	Trenzado	35
Acero Inoxidable	Trenzado	35	

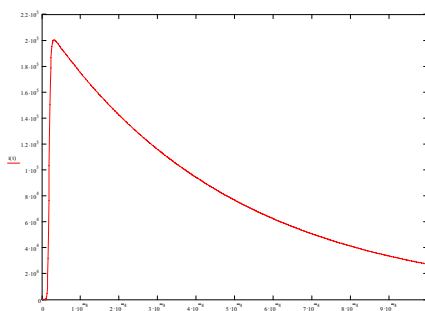


FIG. II: CORRIENTE DE RAYO EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. $I_p=200kA$

B. Comportamientos Térmico

La Fig II, muestra la función de corriente de rayo utilizada para calcular la integral de energía específica del rayo que en éste caso corresponde a 200kA. Tras resolver la integral, la energía específica del rayo obtenida fue de 10.18 MJ/Ω para 200kA. Mientras que para 31kA se obtuvo un valor de 0,2445MJ/Ω.

A continuación se muestra (Tablas IV y V) la variación térmica de los conductores que recomiendan las normas ante un pulso de corriente de rayo para los escenarios estudiados. Para el cálculo de temperatura se asume $T_{AMBIENTE}=27^{\circ}C$.

Caso I: $I_p=200kA$

TABLA IV

VARIACIÓN DE TEMPERATURA ANTE CORRIENTE DE RAYO DE 200KA

NORMA	MATERIAL	CONFIG	SECCION (mm ²)	$\theta-\theta_0(K)$	$\theta(^{\circ}C)$	
NBR5419 año:2001	Cobre		35	46,92	73,923	
	Aluminio		70	25,82	52,824	
	Acero galvanizado		50	216,88	243,878	
IEC-62305-3 año:2006	Cobre	Tira sólida	50	22,00	49,003	
	Cobre	Cilindro Sólido	50	22,00	49,003	
	Cobre	Trenzado	50	22,00	49,003	
	aluminio	Tira sólida	70	25,82	52,824	
	aluminio	Cilindro Sólido	50	53,12	80,121	
	aluminio	Trenzado	50	53,12	80,121	
	Acero galvanizado	Tira sólida	50	216,88	243,878	
	Acero galvanizado	Cilindro Sólido	50	216,88	243,878	
	Acero galvanizado	Trenzado	50	216,88	243,878	
	Acero inoxidable	Tira sólida	50	960,51	987,511	
	Acero inoxidable	Cilindro Sólido	50	960,51	987,511	
NFPA-780 año:2004	Acero inoxidable	Trenzado	70	421,97	448,967	
	Cobre	Trenzado	29	71,13	98,129	
	Aluminio	Trenzado	50	53,12	80,121	
	Cobre	Tira sólida	29	71,13	98,129	
	Aluminio	Tira sólida	50	53,12	80,121	
	Cobre	Trenzado	58	16,18	43,177	
	Aluminio	Trenzado	97	13,13	40,132	
	Cobre	Tira sólida	58	16,18	43,177	
	Aluminio	Tira sólida	97	13,13	40,132	
	DR 02359 año:2002	Cobre	Tira sólida (25*3)	9,55	360,45	387,448
		Aluminio	Tira sólida (25*3)	22,35	120,43	147,431
Acero Galvanizado		Tira sólida (25*3)	73,58	772,14	799,144	
Acero Inoxidable		Tira sólida (25*3)	360,45	2751,11	2778,111	
Cobre		Trenzado	35	46,92	73,923	
Aluminio		Trenzado	35	120,43	147,431	
Acero Galvanizado		Trenzado	35	772,14	799,144	
Acero Inoxidable	Trenzado	35	2751,11	2778,111		

Se observa que las configuraciones que presentan menor variación de temperatura son las de cobre la recomendadas en la IEC-62305 [1]. Contrarias a las configuraciones de acero inoxidable. Más aún si se revisa la norma australiana, la configuración de acero inoxidable supera la temperatura de fusión del material, lo que implica que un bajante en esa configuración no resistiría mecánicamente una corriente de rayo de 200kA.

En las Fig. III y IV, se muestra de forma gráfica de las variaciones de temperatura para las configuraciones recomendadas en la norma IEC-62305 [1].

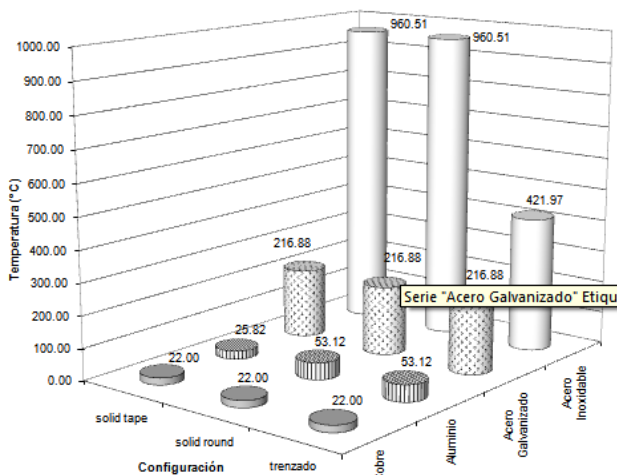


FIG. III: VARIACIÓN DE TEMPERATURA ANTE CORRIENTE DE RAYO DE 200KA (MATERIALES RECOMENDADOS EN IEC-62305[1])

Caso II: Ip=31kA

TABLA V

VARIACIÓN DE TEMPERATURA ANTE CORRIENTE DE RAYO DE 31KA

NORMA	MATERIAL	CONFIG	SECCION (mm ²)	θ-θo(K)	θ(°C)
NBR5419 año:2001	Cobre		35	1,04	28,037
	Aluminio		70	0,59	27,591
	Acero galvanizado		50	3,28	30,284
IEC-62305-3 año:2006	Cobre	Tira sólida	50	0,51	27,507
	Cobre	Cilindro Sólido	50	0,51	27,507
	Cobre	Trenzado	50	0,51	27,507
	aluminio	Tira sólida	70	0,59	27,591
	aluminio	Cilindro Sólido	50	1,16	28,160
	aluminio	Trenzado	50	1,16	28,160
	Acero galvanizado	Tira sólida	50	3,28	30,284
	Acero galvanizado	Cilindro Sólido	50	3,28	30,284
	Acero galvanizado	Trenzado	50	3,28	30,284
	Acero inoxidable	Tira sólida	50	17,23	44,233
	Acero inoxidable	Cilindro Sólido	50	17,23	44,233
	Acero inoxidable	Trenzado	70	8,76	35,763

NORMA	MATERIAL	CONFIG	SECCION (mm ²)	θ-θo(K)	θ(°C)
NFPA-780 año:2004	Cobre	Trenzado	29	1,51	28,511
	Aluminio	Trenzado	50	1,16	28,160
	Cobre	Tira sólida	29	1,51	28,511
	Aluminio	Tira sólida	50	1,16	28,160
	Cobre	Trenzado	58	0,38	27,377
	Aluminio	Trenzado	97	0,31	27,308
	Cobre	Tira sólida	58	0,38	27,377
	Aluminio	Tira sólida	97	0,31	27,308
DR 02359 año:2002	Cobre	Tira sólida (25*3)		0,23	27,225
	Aluminio	Tira sólida (25*3)		0,51	27,515
	Acero Galvanizado	Tira sólida (25*3)		1,45	28,451
	Acero Inoxidable	Tira sólida (25*3)		7,63	34,630
	Cobre	Trenzado	35	1,04	28,037
	Aluminio	Trenzado	35	2,37	29,372
	Acero Galvanizado	Trenzado	35	6,78	33,777
	Acero Inoxidable	Trenzado	35	35,42	62,421

Nuevamente se observa que el mejor comportamiento térmico lo muestran las configuraciones de cobre recomendadas en la norma IEC-62305, contrarias a las de acero inoxidable y galvanizado. Sin embargo, la peor condición de toda las normas la alcanza la configuración de acero inoxidable de la norma australiana.

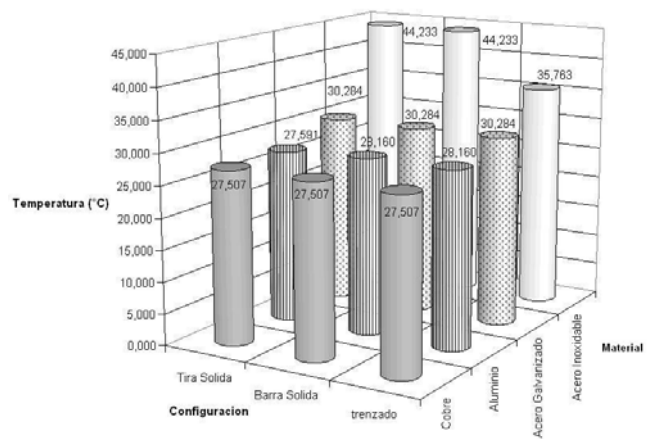


FIG. IV: VARIACIÓN DE TEMPERATURA ANTE CORRIENTE DE RAYO DE 31KA (MATERIALES RECOMENDADOS EN IEC-62305)

C. Comportamiento eléctrico

A continuación se muestran las tablas (VI y VII) de caídas de tensión por unidad de longitud para cada material recomendado por la norma. Así como la caída de tensión en por unidad de kA de corriente de rayo.

Caso I: $I_p=200kA$

TABLA VI

COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO ANTE CORRIENTE DE RAYO DE 200kA

NORMA	MATERIAL	CONF.	SECC. (mm ²)	$\Delta V/I$ (kV/m)	$\Delta V/kA$ (V/kA)
NBR5419 año:2001	Cobre		35	10,7397	53,698
	Aluminio		70	10,7020	53,509
	Acero galvanizado		50	11,8799	59,399
IEC-62305-3 año:2006	Cobre	Tira sólida	50	8,5704	42,851
	Cobre	Cilindro Sólido	50	10,6756	53,378
	Cobre	Trenzado	50	10,6756	53,378
	Aluminio	Tira sólida	70	8,5967	42,983
	Aluminio	Cilindro Sólido	50	10,7722	53,861
	Aluminio	Trenzado	50	10,7722	53,861
	Acero galvanizado	Tira sólida	50	9,7746	48,873
	Acero galvanizado	Cilindro Sólido	50	11,8799	59,399
	Acero galvanizado	Trenzado	50	11,8799	59,399
	Acero inoxidable	Tira sólida	50	11,8482	59,241
	Acero inoxidable	Cilindro Sólido	50	13,9535	69,7675
	Acero inoxidable	Trenzado	70	12,9743	64,871
NFA-780 año:2004	Cobre	Trenzado	29	10,7838	53,919
	Aluminio	Trenzado	50	10,7722	53,861
	Cobre	Tira sólida	29	8,6785	43,392
	Aluminio	Tira sólida	50	8,6670	43,334
	Cobre	Trenzado	58	10,6550	53,275
	Aluminio	Trenzado	97	10,6531	53,265
	Cobre	Tira sólida	58	8,5498	42,748
Aluminio	Tira sólida	97	8,5478	42,739	
DR 02359 año:2002	Cobre	Tira sólida	(25*3)	8,5206	42,603
	Aluminio	Tira sólida	(25*3)	8,5850	42,924
	Acero Galvanizado	Tira sólida	(25*3)	9,3234	46,617
	Acero Inoxidable	Tira sólida	(25*3)	10,7058	53,529
	Cobre	Trenzado	35	10,7397	53,698
	Aluminio	Trenzado	35	10,8776	54,388
	Acero Galvanizado	Trenzado	35	12,4600	62,300
Acero Inoxidable	Trenzado	35	15,4223	77,111	

Las configuraciones que presentan menor caída de tensión por unidad de longitud son aquellas de placa de cobre, por presentar menor inductancia por unidad de longitud, siendo la menor de todas, la recomendada en la norma australiana. En contraste con las configuraciones de acero inoxidable, particularmente la de la norma australiana, que presenta el peor comportamiento eléctrico.

Caso II: $I_p=31kA$

TABLA VII

COMPORTAMIENTO ELÉCTRICO ANTE CORRIENTE DE RAYO DE 31kA

NORMA	MATERIAL	CONF.	SECC. (mm ²)	$\Delta V/I$ (kV/m)	$\Delta V/kA$ (V/kA)
NBR5419 año:2001	Cobre		35	1,6631	53,647
	Aluminio		70	1,6572	53,458
	Acero galvanizado		50	1,8398	59,348
IEC-62305-3 año:2006	Cobre	Tira sólida	50	1,3271	42,811
	Cobre	Cilindro Sólido	50	1,6531	53,327
	Cobre	Trenzado	50	1,6531	53,327
	Aluminio	Tira sólida	70	1,3312	42,942
	Aluminio	Cilindro Sólido	50	1,6681	53,810
	Aluminio	Trenzado	50	1,6681	53,810
	Acero galvanizado	Tira sólida	50	1,5138	48,832
	Acero galvanizado	Cilindro Sólido	50	1,8398	59,348
	Acero galvanizado	Trenzado	50	1,8398	59,348
	Acero inoxidable	Tira sólida	50	1,8352	59,200
	Acero inoxidable	Cilindro Sólido	50	2,1612	69,716
	Acero inoxidable	Trenzado	70	2,0094	64,820
NFA-780 año:2004	Cobre	Trenzado	29	1,6699	53,868
	Aluminio	Trenzado	50	1,6681	53,810
	Cobre	Tira sólida	29	1,3439	43,352
	Aluminio	Tira sólida	50	1,3421	43,294
	Cobre	Trenzado	58	1,6500	53,224
	Aluminio	Trenzado	97	1,6496	53,214
	Cobre	Tira sólida	58	1,3240	42,708
Aluminio	Tira sólida	97	1,3236	42,698	
DR 02359 año:2002	Cobre	Tira sólida	(25*3)	1,3194	42,562
	Aluminio	Tira sólida	(25*3)	1,3294	42,884
	Acero Galvanizado	Tira sólida	(25*3)	1,4439	46,576
	Acero Inoxidable	Tira sólida	(25*3)	1,6581	53,488
	Cobre	Trenzado	35	1,6631	53,647
	Aluminio	Trenzado	35	1,6845	54,337
	Acero Galvanizado	Trenzado	35	1,9297	62,249
Acero Inoxidable	Trenzado	35	2,3889	77,060	

Nuevamente son las configuraciones de placa de cobre las que mejor se desenvuelven desde el punto de vista eléctrico, siendo la norma australiana la que ofrece la recomendación con mejor desempeño. Y a su vez recomendando bajo la configuración de acero inoxidable la opción con peor desenvolvimiento eléctrico.

D. Medición de impedancia en función de la frecuencia

A continuación se muestra una gráfica (Fig V) típica de las formas de onda de voltaje y corriente medidas, a partir de las cuales se realizó el análisis de Fourier, como fue descrito anteriormente, para determinar la impedancia de cada conductor en función de la frecuencia.

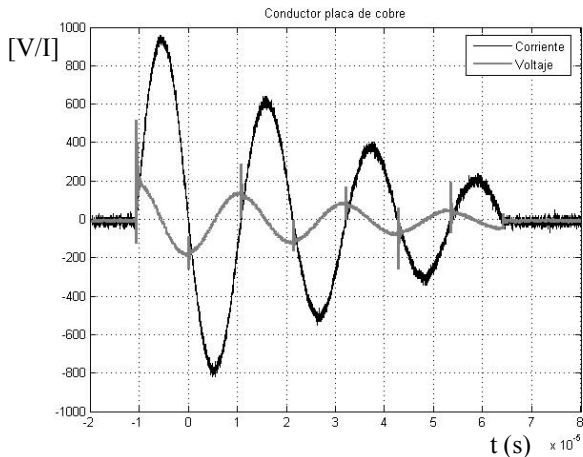


FIG. V: RESPUESTA CORRIENTE Y TENSIÓN EN FUNCIÓN DEL TIEMPO EN UNA MUESTRA DE UN CONDUCTOR DE BAJADA TIPO PLACA DE COBRE ANTE UN IMPULSO DE TENSIÓN DE 1,5kV.

A partir de todas las curvas de voltaje y corriente de las muestras mencionadas se obtuvo las siguientes curvas (Fig. VI, VII y VIII) de impedancia en función de la frecuencia.

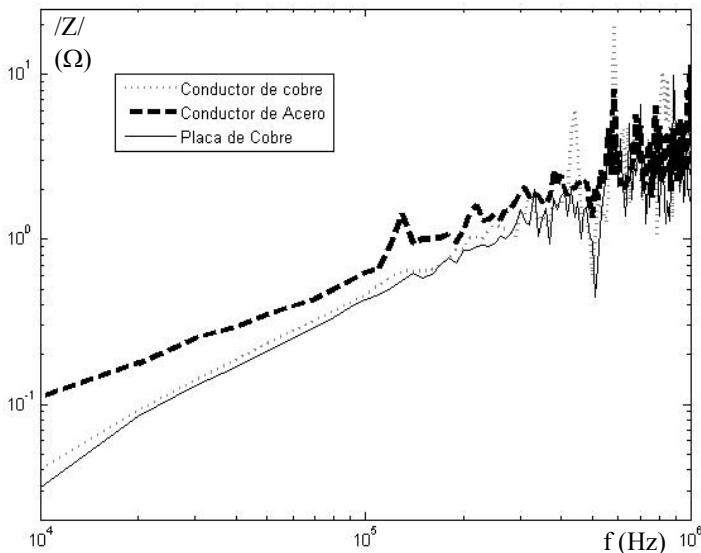


FIG. VI: IMPEDANCIA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE CONDUCTORES TÍPICOS.

Para las mediciones sobre el Ericore® se consideró distintas conexiones previamente mencionadas, a continuación se muestran las curvas de impedancia en función de la frecuencia para tales conexiones.

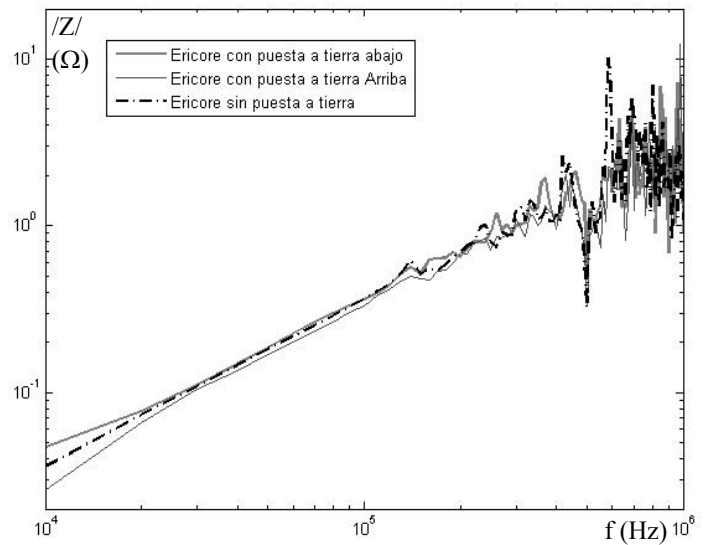


FIG. VII: IMPEDANCIA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE DISTINTAS CONEXIONES DEL ERICORE.

Separando de la figura V y VI las mejores respuestas en frecuencia, tenemos la curva de la placa de cobre y la del Ericore® con la pantalla puesta a tierra en su punto superior.

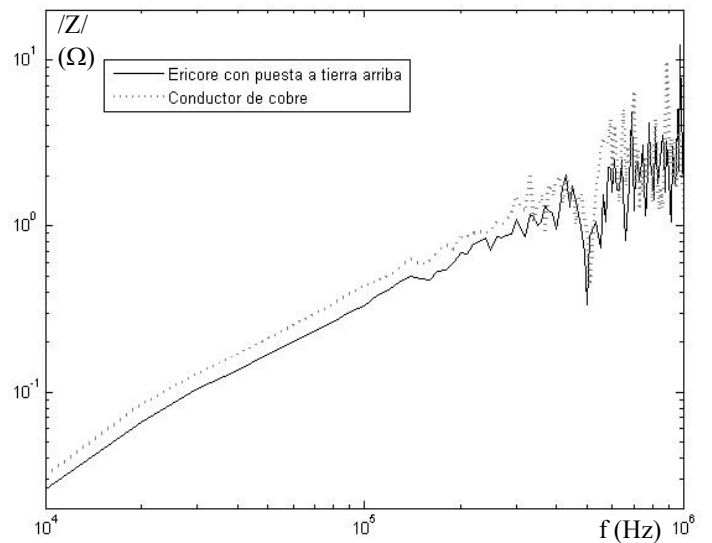


FIG. VIII: IMPEDANCIA EN FUNCIÓN DE LA FRECUENCIA DE PLACA DE COBRE Y ERICORE CON PUESTA A TIERRA EN PUNTO SUPERIOR.

Se observa una variación de las impedancias tanto entre los conductores típicos como entre las distintas conexiones de los Ericore. Resultando la placa de cobre la que mejor muestra un desempeño entre los primeros y la conexión con pantalla puesta tierra entre los segundos. Siendo el Ericore con pantalla puesta a tierra el conductor que muestra una mejor respuesta en frecuencia de su impedancia.

IV. CONCLUSIONES

Existe una amplia variedad de posibilidades de materiales con distintas configuraciones que pueden emplearse como bajantes de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, tal que cumplan con determinadas normativas internacionales.

Desde el punto de vista térmico, las configuraciones a base de acero muestran peor desempeño en cuanto a calentamiento, pues acumulan de dos a cuatro veces más temperatura que el resto de las configuraciones con otros materiales. Contrario a las configuraciones de aluminio y cobre, particularmente las establecidas en la norma IEC-62305, que muestran un mejor desempeño térmico ante la energía de un rayo.

Desde el punto de vista eléctrico, nuevamente las configuraciones de acero muestran peor comportamiento, pues exceden como mínimo en 40% al resto de las configuraciones con otros materiales. En contraste con las configuraciones de aluminio y cobre que plantea la norma IEC-62305, y en particular al resto de las configuraciones de placa de cobre, que probaron el mejor comportamiento en todas las normas.

Lo anterior puede demostrar que en general, lo que hace de buena calidad a un bajante es una baja impedancia $Z(f)$, pues en ella están reflejadas tanto la caída de tensión por unidad de longitud, como el calentamiento del conductor. La primera relacionada con la parte inductiva del conductor y la segunda con la parte resistiva del mismo.

Es por ello, que la prueba realizada a los materiales en el laboratorio es factor clave en el estudio de los bajantes. Prueba que arrojó al Ericore® con pantalla puesta a tierra en el punto superior, como el que desarrolla una menor impedancia a lo largo de un barrido de frecuencias, al compararlo con los conductores normalizados. Del resto, es la placa de cobre la de menor impedancia, por ser definitivamente la que posee menor inductancia por unidad de longitud.

Considerar los problemas de hurto en algunas instalaciones de telecomunicaciones es un factor importante a la hora de diseñar el tipo de material y configuración a utilizar. Ante ello, se presenta como posible solución la implementación de conductores de distintos tipos y materiales que sean poco atractivos al hurto. Entre ellos, el acero galvanizado (mejor que el inoxidable) y el ERICORE, como alternativas.

La selección final de un conductor bajante dependerá de las particularidades del proyecto y de sus limitaciones técnicas, económicas y sociales asociadas al entorno. Notando que de la gama de opciones que ofrecen las normas, no existe mayor diferencia en el uso de alguno. Aunque bien es cierto que las configuraciones de acero resultaron menos favorables ante todas las evaluaciones realizadas.

V. BIBLIOGRAFÍA

- [1] IEC-62305-2006 "Protection against Lightning"
- [2] AEA 92305-1 -2006 "Instalaciones De Protección Contra Las Descargas Atmosféricas"
- [3] NFPA-780-2004 "Standard for the Installation of Lightning Protection Systems"
- [4] NBR 5419-2001 "Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas"
- [5] DR 02359-2002 "Lightning protection"
- [6] F.D'Alessandro, P. J. Hollingsworth. "Characteristics of the ERICORE Downconductor". Material Técnico ERICO.
- [7] R. Ramírez. "The FFT. Fundamentals and concepts". Prentice Hall – USA. 1985.