

# SOBRETENSIONES TRANSITORIAS EN SISTEMAS ELÉCTRICOS

Carlos Alberto Avendaño Avendaño\*  
Henry Felipe Ibáñez Olaya\*\*

## La Necesidad de Estudiar las Sobretensiones Transitorias

Las sobretensiones transitorias son picos de tensión de corta duración que se presentan en los sistemas eléctricos o electrónicos, cuyo origen se puede atribuir a descargas atmosféricas (impactos directos o cercanos<sup>1</sup>), maniobras de conmutación de grandes cargas inductivas o capacitivas de la red de energía adyacentes a los sistemas eléctricos, descargas electrostáticas o explosiones nucleares<sup>2</sup>. De las anteriores causas posibles las descargas atmosféricas representan la mayor peligrosidad, por dos razones fundamentales; de una parte, por los niveles de tensión y de corriente que generan; de otra, porque la exposición al riesgo no implica que el equipo electrónico o el sistema eléctrico se exponga a contacto físico con ella, y solamente bastaría con una interacción a través de los acoples electromagnéticos que puedan existir.

Los acoples electromagnéticos se pueden dividir en tres clases:

1. Acoples resistivos: se presenta cuando se crea una diferencia de potencial entre dos sistemas aterrizados independientemente e interconectados a través de ca-

---

\* Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia, estudios de Maestría en Alta Tensión Universidad Nacional de Colombia. Profesor de tiempo completo adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

\*\* Ingeniero Electricista Universidad Nacional de Colombia, estudios de Maestría en Alta Tensión Universidad Nacional de Colombia. Profesor de tiempo completo adscrito a la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital F.J.C.

1 El radio de acción de un rayo puede ser hasta de 1 Km.

2 Las explosiones nucleares producen los conocidos NEMP= Nuclear Electromagnetic Pulse, los cuales pueden afectar los circuitos electrónicos de satélites, aviones etc.

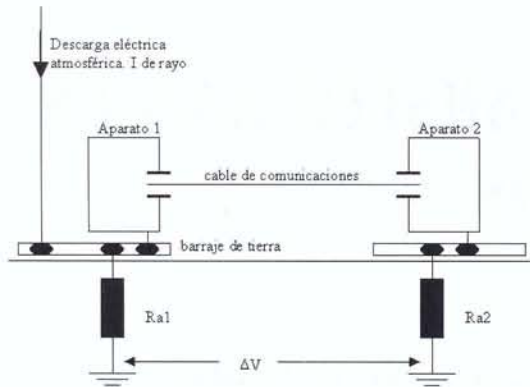


Figura 1. Sobretensión por Acople Resistivo

bles o interfaces de comunicación, si por alguno de los sistemas circula una corriente de rayo a tierra<sup>3</sup>.

2. Acoples inductivos: se presentan sobretensiones por este tipo de acoples debido al cambio en el tiempo del flujo magnético, el cual es proporcional a la variación de corriente ( $di/dt$ ) asociada a una descarga atmosférica en un bucle, el cual podría estar formado por la red de comunicaciones y de potencia<sup>4</sup>, tal como se muestra en la Figura 2.
3. Acople capacitivo: todos los equipos y sistemas eléctricos y electrónicos se encuentran acoplados capacitivamente unos con otros, al encontrarse a diferentes niveles de tensión. Por ellos circulan unas pequeñas corrientes despreciables bajo condiciones normales; cuando las diferencias en los niveles de tensión se elevan al orden de los kilovoltios en tiempos cortos (msegundos), las corrientes de acople aumentan considerablemente fluyendo hacia los sistemas eléctricos.

La energía asociada a las descargas atmosféricas puede ser de cientos de megajoules, mientras que la máxima energía soportable por un dispositivo electrónico no supera unos cuantos milijoules (Ver Figura 4 y Tabla 1).

Son muchos los daños causados por las sobretensiones, en especial las provocadas por los

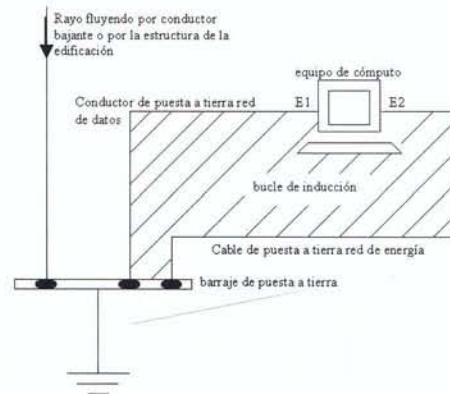


Figura 2. Sobretensión en un Bucle de la Instalación Eléctrica

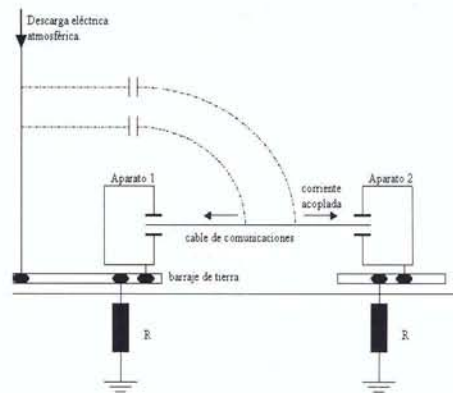


Figura 3. Acoplamiento Capacitivo

- 3 Si  $Ra1 = 1W$ , la corriente de rayo igual a  $10kA$ , el sistema 1 se elevará a un voltaje de  $10kV$  respecto al sistema 2, ocasionando daño al interior de los equipos.
- 4 Entre las dos redes puede haber una diferencia de potencial debido a tensiones inducidas en la entrada del aparato  $E_1$  y  $E_2$  de hasta algunos centenares de kilovoltios, causando así perforaciones eléctricas en el interior del aparato

Equipo o componente	ENERGIA (Julios)												
	10 <sup>-10</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-1</sup>	1	10	100
Reles pequeños transformadores													
Tubos rayos catódicos													
Resistencias de carbón													
Resistencias de metal													
Condensadores													
Inductancias de filtro													
Transistores													
Diodos de señal													
Circuitos integrados													
Diodos para microondas													
Componentes para computador													
No destrucción													
Posible destrucción													
Destrucción segura													

Tabla 1. Efectos de las Sobretensiones sobre Equipos y Componentes en Función de la Energía de las Sobretensiones. Fuente: BUCHLER W., BOSSHARD W. Lighting Protection for Electronic Equipment and Installations. Suiza, junio de 1987

rayos; para ilustrar la magnitud del problema se podría comentar las grandes sumas de dinero pagadas por las aseguradoras alemanas de

equipo electrónico por daños causados por impactos indirectos de rayo, las cuales alcanzaron entre 1992 y 1997 una cuantía superior al 26% de los daños totales (ver Figura 5).

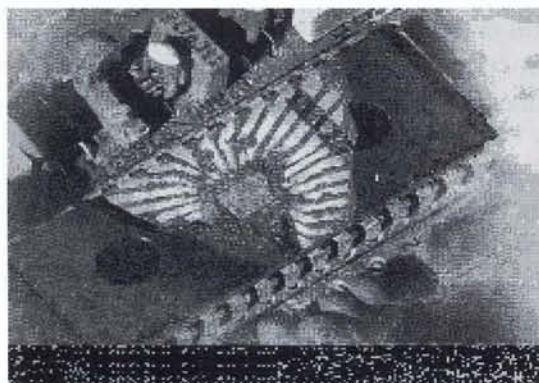


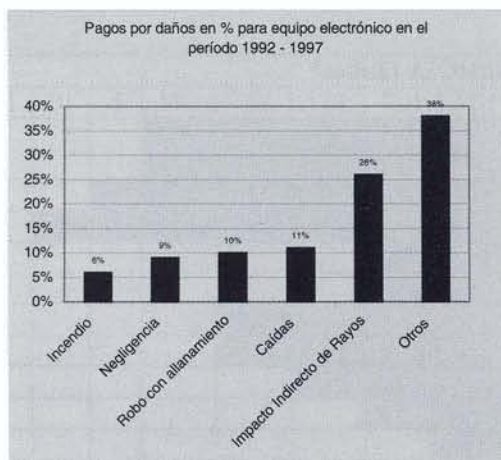
Figura 4. Destrucción de Equipo Electrónico por Sobretensiones Transitorias

### El Caso Colombiano

Por estar ubicado en la zona de confluencia intertropical, Colombia presenta una mayor densidad de descargas atmosféricas a tierra en comparación con otros países de latitudes superiores, razón por la cual nuestros problemas no podrían ser menores<sup>5</sup>.

Son muchos los sectores afectados con daños de equipos electrónicos causados por las sobretensiones de origen atmosférico; entre ellos puede mencionarse el sector de las telecomu-

5 WILLIAMS, E., BOCCIPPIO D., PETERSEN, W., RUTLEDGE, S., ISHII M., HIDAYAT S., TORRES H., JAYARATNE R., YAIR Y., LEVIN Z., MACKERRAS D. Latitud Dependence of Ground Flash Density in the Tropics and Subtropics» Amer. Geo. UN Meeting, San Francisco, 1996



**Figura 5. Distribución del Pago de Aseguradoras Alemanas por Daño en Equipo electrónico. Período 192-1997. Fuente: Wurttembergische und Badische Versicherungs, AG Frankfurt**

nicaciones, la banca y en general todo el gremio industrial. Las millonarias pérdidas por daño en equipo electrónico, incluyendo la paralización de procesos industriales, interrupciones en el servicio, etc., no han llegado a cuantificarse.

Las empresas distribuidoras de energía son otro sector altamente afectado; ellas tienen pérdidas millonarias por quema de transformadores de distribución. Algunos estudios realizados muestran que la quema de transformadores de distribución en zonas rurales tiene su origen en sobretensiones por descargas eléctricas atmosféricas<sup>6</sup>.

Un caso típico de este fenómeno es el de la zona rural a cargo de Codensa, la cual atiende 94 municipios de Cundinamarca en un área de cobertura de aproximadamente 14.000 Km<sup>2</sup>

dividida administrativamente en tres departamentos y subdividida en 17 zonas geográficas. En junio de 1996 contaba con 15.083 transformadores, de los cuales fallaron 1549 (el 10.27%)<sup>7</sup>. Las zonas más afectadas fueron la de Rionegro (274 transformadores quemados) y la de Pacho (170 transformadores quemados); cabe mencionar que dichas zonas presentan uno de los mayores índices de densidad de rayos a tierra (18 descargas/ km<sup>2</sup>-año) del país (ver Figura 6).

Un argumento adicional que ratifica a las descargas eléctricas atmosféricas como las causantes de la quema de transformadores es la estadística de transformadores fallados por mes, los cuales muestran una coincidencia entre los meses más lluviosos (marzo, abril, mayo) con los meses de mayor número de transformadores quemados (ver Figura 7).

### Parámetros de la Descarga Eléctrica Atmosférica

Una descarga eléctrica atmosférica o rayo se puede definir como una chispa eléctrica que salta entre dos nubes, o entre una nube y la tierra. Estas se electrifican debido a procesos de fricción entre el viento, que circula a grandes alturas, con las gotas de lluvia que se forman en las nubes de tormenta, pedazos de granizo o hielo. El proceso de electrificación hace que la nube adquiera carga eléctrica y por lo tanto un potencial eléctrico que puede llegar a ser del orden de los megavoltios respecto a otra nube o tierra, provocándose el relámpago (el efecto luminoso que se aprecia) y el trueno (el efecto sonoro).

6 Informe sobre Estadísticas de Fallas de Transformadores de Distribución para la Zona Rural Crítica de la EEB. Empresa de Energía de Bogotá, División Distribución Rural. Bogotá 1996

7 Teniendo en cuenta que la mayoría de los transformadores tipo distribución son monofásicos y que el costo de cada uno de ellos oscila alrededor de los \$2 millones, en 1996 las pérdidas por reposición de transformadores sobrepasaron los \$3.000 millones



Figura 6. Transformadores Fallados Zona Rural de Codensa

Cuando se produce el rayo gran cantidad de carga eléctrica se moviliza ocasionando grandes corrientes, (kiloamperios) en tiempos bastante rápidos (microsegundos). Así, si se observa una descarga atmosférica en realidad ocurren múltiples descargas a tierra o entre nubes, las cuales por sus características se pueden clasificar en:

- Primera descarga
- Descargas subsiguientes
- Descarga de larga duración

Los parámetros de estas descargas son importantes en el diseño de sistemas de protección contra rayos. Para la primera descarga es fundamental conocer los parámetros de corriente máxima y carga neta, ya que en esta condición se presentan los mayores valores de corriente y carga, importantes en el dimensionamiento de las protecciones básicas. En las descargas subsiguientes se presentan los mayores valores de  $di/dt$ , los cuales se requieren en el cálculo de protecciones finas contra sobretensiones inducidas. Para la selección de conductores de puesta a tierra y bajantes de pararrayos es fundamental el parámetro de carga neta de la descarga de larga duración.

No todas las descargas atmosféricas tienen los mismos valores de corriente, carga y  $di/dt$ ; aún así, múltiples mediciones realizadas en muchos años por diferentes grupos de investigación y recogidos por la Comisión Electrotécnica In-

ternacional IEC permitieron generalizar y estandarizar estos parámetros (Ver Tabla 2), para los cuales se definieron cuatro niveles de protección así:

- Nivel I. El 99% de las descargas son inferiores a este nivel
- Nivel II. El 98% de las descargas son inferiores a este nivel
- Nivel III-IV. El 95% de las descargas son inferiores a este nivel.

Son muchas las investigaciones que se han realizado a nivel mundial, y que se continúan desarrollando para entender el fenómeno de los rayos o descargas eléctricas atmosféricas. En Colombia la compañía ISA (Interconexión Eléc-

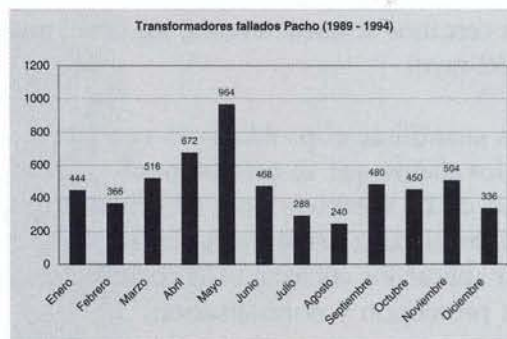


Figura 7. Transformadores Fallados en la Zona de Pacho en el Período 1989-1994

trica S.A.), con el apoyo de la Universidad Nacional de Colombia, han realizado durante los últimos 15 años, mediciones de los parámetros del rayo en la geografía nacional; como resultado se ha obtenido el mapa de densidad de rayos a tierra, el cual permite determinar las zonas más críticas del país y caracterizar las descargas atmosféricas en Colombia ya que, como se ha anotado, éstas presentan parámetros superiores a los considerados internacionalmente.

### Algunas Conclusiones

La principal causa de las sobretensiones transitorias en los sistemas eléctricos y electrónicos son las descargas eléctricas atmosféricas, las



Figura 8. Descarga Eléctrica Atmosférica

cuales pueden tener un radio de acción de 1km y, por medio de los diferentes tipos de acoples electromagnéticos, generar sobretensiones sobre los sistemas eléctricos, más severas cuanto más cercanos se encuentren al lugar del impacto del rayo.

Para cuantificar el problema es necesario valorar los daños que se producen año tras año a causa de las sobretensiones de origen atmosférico en el país; así se tomarán las decisiones para aplicar los correctivos necesarios en cuanto a protección y normalización.

Tabla No. 2. Parámetros de la Descarga Eléctrica Atmosférica según Niveles de Protección

Fuente: Norma IEC 61312-1. Protection against lightning electromagnetic impuls-part 1: General principles.

También es importante que la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital E.J.C. comience a desarrollar soluciones de protección de los sistemas eléctricos y electrónicos ya que, si bien no existen estadísticas de pérdidas económicas por daño de equipos a causa de sobretensiones en los sectores de telecomunicaciones y redes de baja tensión en el país, su proceso de destrucción continúa aumentando.

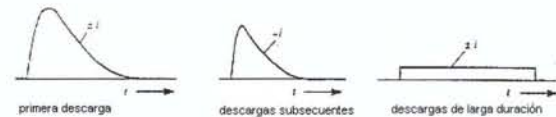


Figura 9. Componentes de Corriente de una Descarga Atmosférica

PRIMERA DESCARGA			
PARAMETRO	Nivel I	Nivel II	Nivel III-IV
Pico de corriente (kA)	200	150	100
Tiempo de frente ( $\mu$ s)	10	10	10
Tiempo de cola ( $\mu$ s)	350	350	350
Carga (C)	100	75	50
Energía específica (MJ/ $\Omega$ )	10	5	2.5
DESCARGAS SUBSECUENTES			
Pico de corriente (kA)	50	37.5	25
Tiempo de frente ( $\mu$ s)	0.25	0.25	0.25
Tiempo de cola ( $\mu$ s)	100	100	100
di/dt (kA/ $\mu$ s)	200	150	100
LARGA DURACION			
Carga (C)	200	150	100
Duración (s)	0.5	0.5	0.5
Corriente (A)	400	300	200

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BUCHLER W., BOSSHARD W. Lighting Protection for Electronic Equipment and Installations. Suiza, junio de 1987
- AG Frankfurt. Wurttembergische und Badische Versicherungs
- WILLIAMS E., BOCCIPPIO D. y otros. Latitud Dependence of Ground Flash Density in the Tropics and Subtropic Amer.Geo. UN Meeting, San Francisco, 1996
- Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. Informe sobre Estadísticas de Fallas de Transformadores de Distribución para la Zona Rural Crítica de la EEB, División Distribución Rural, Bogotá, 1996
- Norma IEC 61312-1. Protection Against Lightning Electromagnetic Impuls - Part 1: General Principles (1995)