

# PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS PARA LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN

## ANTECEDENTES

El diseño de Protección contra descargas eléctricas atmosféricas para Sistemas de Transmisión y Distribución, ha experimentado muy pocos cambios, y consecuentemente, ha tenido muy poco desarrollo en los últimos 50 años. Las herramientas y dispositivos usados para la Protección contra descargas eléctricas atmosféricas, están limitadas a productos y técnicas tales como:

- a. a. Arrestadores
- b. b. Espaciamiento
- c. c. Hilos de Guarda (Líneas Estáticas o Hilos de Tierra)
- d. d. Relevadores para operar interruptores de circuitos
- e. e. Componentes de Sistemas de Tierra convencionales
- f. f. Incremento en los niveles básicos de aislamiento

Durante los pasados 10 años, LEC ha introducido al mercado, una serie de nuevas herramientas y dispositivos, lo que ha hecho posible alcanzar una mayor medida de PROTECCIÓN. Estas herramientas y dispositivos son:

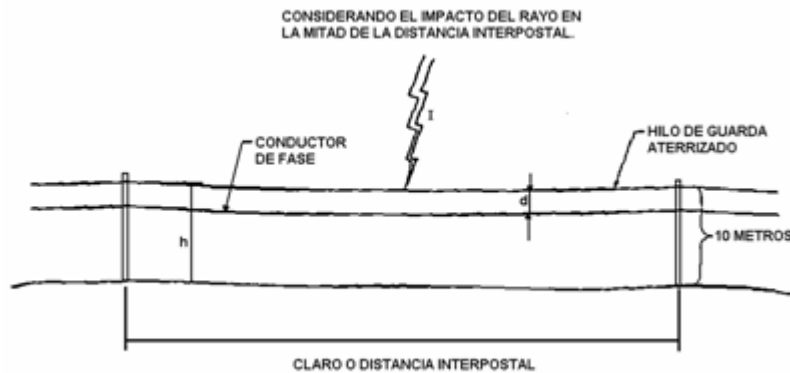
- 1. 1. El Sistema Disipador Dual (DDS)
- 2. 2. El Sistema Desviador Spline Ball Ionizer (SBDS)
- 3. 3. El Electrodo de Tierra del Tipo Barra Química (CHEM- ROD<sup>®</sup>)
- 4. 4. El Relleno Acondicionador para la Tierra (GAF)
- 5. 5. El Interceptor de Eventos Eléctricos Transitorios o Supresor de Picos.

De los dispositivos antes enumerados, los SBDS han probado una importante disminución en las salidas de operación inducidas por descargas eléctricas atmosféricas y los DDS, una total eliminación de las salidas de operación, relacionados con rayos. Cuando se comparan estos dos nuevos sistemas con los sistemas convencionales actualmente en uso, no queda duda de que estos nuevos dispositivos han incrementado el posible desempeño en línea, a través del uso de los componentes de estos nuevos sistemas. Además, un análisis de las salidas de operación de las líneas, involucran los incrementos de la

protección convencional y la duda de no usar al menos alguna de estas técnicas. A los hilos de guarda, se les debe dar una consideración especial. Es por tanto deseable, analizar el hilo de guarda principal y sus desventajas, y comparar su desempeño de acuerdo con las nuevas tecnologías.

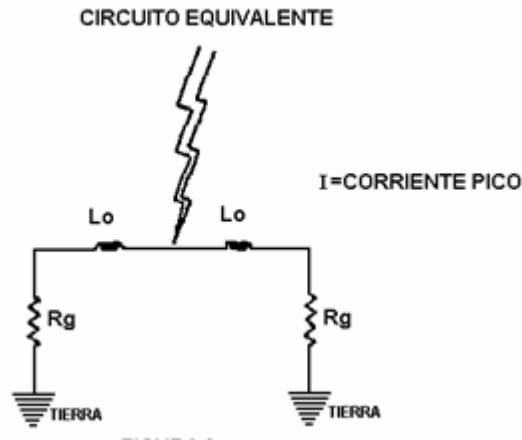
## LA INFLUENCIA DE LOS IMPACTOS DE RAYO EN LOS HILOS DE GUARDA

Para determinar la efectividad de los hilos de guarda, es necesario solamente analizar el impacto de una descarga, a una línea que se considera típica con parámetros convencionales. Para este fin, fue hecho un análisis, asumiendo dos impactos directos de consideración, al hilo de guarda, a media distancia y al poste. Dos longitudes de espaciamiento típicas y dos valores de resistencia de tierra, se usaron para los puntos de aterrizaje de cada poste. Se usó un conductor de bajada de cobre sólido calibre N° 6 AWG, por cada poste. El voltaje inducido en el conductor de fase con espaciamientos de un metro y dos metros, fue calculado usando un 50% del impacto y un 75% del impacto, con un aumento de tiempo a la corriente pico de ambos de un (1) microsegundo y ocho (8) microsegundos.



**FIGURA 1**

Se consideró que la descarga eléctrica alcanzó la parte media del hilo de guarda con una magnitud de  $I$ , como se muestra en la Figura 1. El circuito equivalente, puede ser aproximadamente, como el circuito mostrado en la Figura 2.



**FIGURA 2**

D = Espacio entre Hilo de Guarda y Conductor de Fase

V = Voltaje inducido

dt = Tiempo a la cresta

Rg = 25 Ohms (resistencia de tierra en los postes)

La Tabla 1, presenta la inductancia estimada del hilo de guarda en la cercanía del poste, en ambas direcciones, más la inductancia del conductor de bajada. Se consideró una resistencia de aterrizaje de 25 a 50 Ohms. Los postes de metal y las torres metálicas, reducirán la impedancia del conductor de bajada de tal manera que éste puede omitirse. Incluso, 10 metros del alambre de bajada del # 6 AWG, disminuirán hasta en 10% el total de la impedancia, y por tanto, tendrán menor influencia en el incremento del voltaje del hilo de guarda.

<b>TABLA 1</b>			
<b>Inductancia del Hilo de Guarda y el Conductor de Bajada</b>			
<u>Longitud del Claro</u>	<u>Inductancia</u>		<u>Conductor de</u>
	<u>Bajada</u>	<u>Total</u>	
S = 400 pies	147 $\mu$ Hy	15 $\mu$ Hy	
S = 600 pies	217 $\mu$ Hy	15 $\mu$ Hy	

Los resultados del 50% de los impactos a los hilos de guarda, se muestran en la Tabla 2. en términos de voltaje inducido en los conductores de fase adyacentes.

<b>TABLA 2</b>					
<b>Impacto de Rayos a media distancia de T &amp; D de los Hilos de Guarda en el Voltaje del Conductor de fase</b>					
I = 20 KA Corriente Pico					
CLARO	D	V inducido ( $R_g = 25$ Ohms)		V inducido ( $R_g = 50$ Ohms)	
		dt =		1 $\mu$ s	8 $\mu$ s
		1 $\mu$ s	8 $\mu$ s		
400 pies	2 m	420 KV	105 KV	500 KV	190 KV
600 pies	2 m	590 KV	110 KV	650 KV	200 KV
400 pies	1 m	560 KV	140 KV	640 KV	250 KV
600 pies	1 m	800 KV	150 KV	870 KV	270 KV

La Tabla 3, muestra los resultados al 70% del impacto. Estos están expresados en función de la longitud del espacio entre postes (1), el espaciamento (d), la resistencia de aterrizaje (R), la corriente pico (I) de los impactos a UNO y OCHO microsegundos de tiempo.

<b>TABLA 3</b>					
<b>70% del Rayo a Media Distancia</b>					
I = 70 KA Corriente Pico					
CLARO	D	V inducido ( $R_g = 25$ Ohms)		V inducido ( $R_g = 50$ Ohms)	
		dt =		1 $\mu$ s	8 $\mu$ s
		1 $\mu$ s	8 $\mu$ s		
400 pies	2 m	1.5 MV	370 KV	1.7 MV	660 KV
600 pies	2 m	2.1 MV	440 KV	2.3 MV	700 KV
400 pies	1 m	2.0 MV	500 KV	2.2 MV	882 KV
600 pies	1 m	2.8 MV	600 KV	3.0 MV	940 KV

Alambre # 6

dt = tiempo a la cresta

H = 10 metros

Notar que el voltaje inducido resultante en los conductores de fase, es al menos 110 KV, pero puede ser tan alto como 3000 KV, para solo un 70% de impactos. Tres de cada 10 impactos, terminan en esa línea que igualará o excederá el 70% de la corriente pico, generando voltajes inducidos en los conductores de fase, en más de 3000 KV. Si bien el 50% de los impactos de rayo son en promedio de entre 20 y 30 mil amperes, las corrientes de pico máximas medidas excederán los 500 mil amperes.

En contraste, los impactos en o cerca del soporte de la estructura en el hilo de guarda, como se ilustra en la Figura 3, induce un bajo voltaje proporcionalmente en los conductores de fase, como se relaciona en las Tablas 4 y 5. Estos también están basados en los mismos parámetros de la línea, ver la Figura 4. Notar que bajo estas condiciones, los rangos de voltajes inducidos, van de uno bajo de 56 KV, a los que exceden los 830 KV. Como se ilustra en la Tabla 4, estos bajos voltajes son el resultado de la proximidad del “punto de terminación” al conductor de bajada / conexión a tierra.

<b>TABLA 4</b>					
<b>Impacto del 50% del Rayo a los Hilos de Guarda en el Soporte de las Estructuras sobre el Voltaje del Conductor de Fase.</b>					
I = 20 KA Corriente Pico					
CLARO	D	V inducido (R <sub>g</sub> = 25 Ohms)		V inducido (R <sub>g</sub> = 50 Ohms)	
		dt = 1 μs	dt = 8 μs	1 μs	8 μs
400 pies	2 m	105 KV	67 KV	188 KV	110 KV
600 pies	2 m	110 KV	74 KV	200 KV	120 KV
400 pies	1 m	140 KV	90 KV	250 KV	150 KV
600 pies	1 m	150 KV	100 KV	270 KV	170 KV

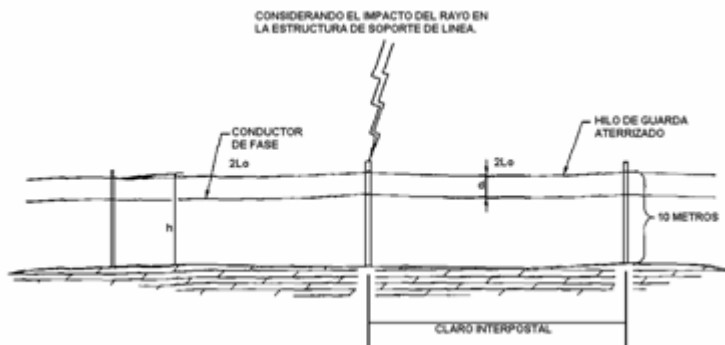
<b>TABLA 5</b>			
<b>Impacto de un 70% del Rayo al Hilo de Guarda en el Soporte de la Estructura</b>			
I = 70 KA Corriente Pico			
		V inducido (R <sub>g</sub> = 25	V inducido (R <sub>g</sub> = 50 Ohms)

CLARO	D	Ohms)		1 $\mu$ s	8 $\mu$ s
		dt = 1 $\mu$ s	8 $\mu$ s		
400 pies	2 m	370 KV	240 KV	660 KV	400 KV
600 pies	2 m	380 KV	260 KV	700 KV	430 KV
400 pies	1 m	490 KV	320 KV	880 KV	530 KV
600 pies	1 m	510 KV	350 KV	940 KV	580 KV

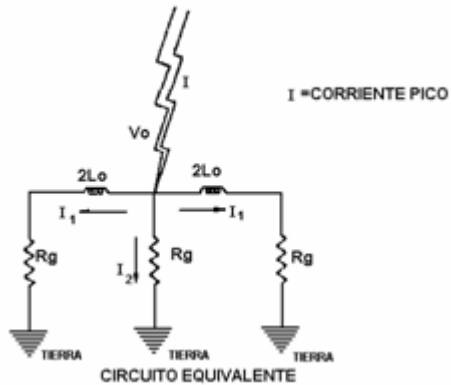
Este es el resultado de una significativa baja corriente, circulando en el hilo de guarda, hacia los postes adyacentes. Esto también demuestra, la importancia de atraer o coleccionar los rayos en el soporte de la estructura, antes que a lo largo del hilo de guarda entre poste y poste.

Las conclusiones de este análisis son claras y trascendentes:

1. Los impactos directos coleccionados por el hilo de guarda (o blindaje), no ofrecen ninguna protección importante contra el flameo o arqueo (flashover) causado por las terminaciones de rayos en el hilo de guarda.



**FIGURA 3**



**FIGURA 4**

2. 2. Los impactos directos en o muy cerca de los soportes de las estructuras, inducen mucho menos voltaje en los conductores de fase.
3. 3. Los hilos de guarda o blindajes, ofrecen muy poca o ninguna protección contra los flameos o arcos resultantes de los impactos de rayo directos a las líneas de transmisión, que operan a altos voltajes.
4. 4. Existe una duda razonable en relación al Costo-efectividad de los hilos de guarda en general.

### TECNOLOGÍAS NUEVAS Y MÁS EFECTIVAS

De acuerdo con los datos anteriores, es obvio que:

- Los rayos colectados a lo largo del claro o la distancia interpostal, deberán eliminarse para alcanzar cualquier reducción importante en la relación de flameo (flashover) inducido por las descargas eléctricas atmosféricas.
- La eliminación de TODOS los riesgos de impactos directos, es el objetivo más deseable en los sistemas de protección contra descargas eléctricas atmosféricas.

Información derivada de los pasados 10 años, ha revelado que ambos objetivos son posibles. El Sistema Disipador Dual (DDS) de LEC, ha

probado que pueden prevenirse TODOS los impactos directos que terminen en cualquier Sistema de Transmisión o Distribución, protegido por el DDS. El Sistema Spline Ball Diverter (SBDS), ha probado que los rayos en y a lo largo del claro interpostal, pueden eliminarse y pueden desviarse a las estructuras de soporte y mantenerlos fuera de los hilos de guarda en su totalidad.

## **1. 1. El Sistema Disipador Dual (DDS)**

En algunos de los documentos técnicos (1) , el autor ha descrito un Sistema de Prevención de impactos de Rayos, conocido como el Sistema de Arreglo de Disipación<sup>®</sup> (DAS<sup>®</sup>). El DAS<sup>®</sup>, ha acumulado más de 27 años de historia operando exitosamente. Existen más de 10 mil sistemas instalados en todo el mundo, y la mayoría de ellos, operando en áreas de un alto nivel ISOKERÁUNICO, en donde hubieron grandes daños, ocasionados por descargas eléctricas atmosféricas antes de instalar el DAS, y donde después no se han registrado daños relacionados con los rayos. Torres de más de 1750 pies (573 mts) de altura y áreas de más de 3 km<sup>2</sup>, han sido protegidas totalmente de la actividad eléctrica de una tormenta. Como una parte de las instalaciones de estos sistemas, el DDS se ha usado por más de 20 años, PREVINIENDO rayos en los sistemas protegidos.

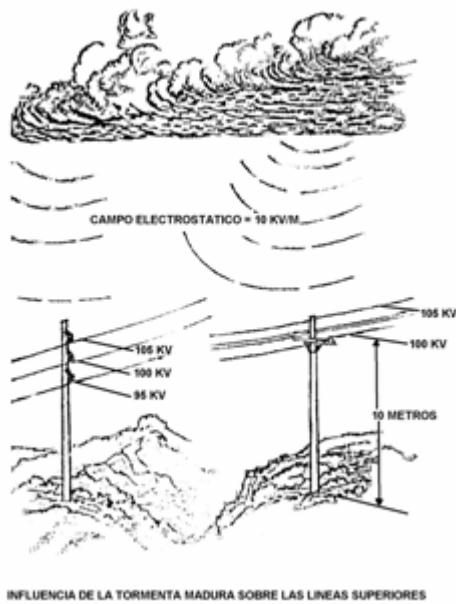
El DDS, está basado principalmente en el DAS, el cual a su vez se basa en el principio del fenómeno de Electrostática conocido como “Punta de Descarga”. El principio del Punto de Descarga, se describe en detalle, dentro del documento técnico (3) (Lightning Strike Protection, Criteria, Concepts and Configuration), y es un método de descarga de la carga inducida, en un área de la superficie de la tierra, durante el paso de una nube de tormenta sobre esa área. Descargando la carga inducida, se obtiene como resultado, una reducción del voltaje inducido en ese sistema, y en el campo electrostático que está presente entre el Sistema y la Célula de Tormenta (Nube de Tormenta).

Estos campos eléctricos, normalmente alcanzan niveles de entre 10 KV y 30 KV, por metro de elevación sobre el nivel de la tierra y la célula de tormenta durante una tormenta madura.

La Figura 5, muestra el voltaje resultante en una línea de distribución tipo. El DDS, reduce ese campo eléctrico a menos de una décima del



valor normal dentro de su esfera de influencia. La Figura 6, muestra los voltajes resultantes en una línea de distribución protegida con DDS.



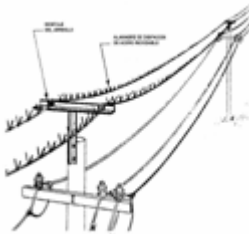
**FIGURA 5**



**FIGURA 6**

Disminuyendo el campo eléctrico alrededor de las líneas protegidas, se logran dos objetivos importantes:

1. 1.



DETALLE DEL SISTEMA DISIPADOR DUAL

**FIGURA 7**

El voltaje en el DDS y en los conductores de fase, es disminuido significativamente, de tal manera que no se podrán convertir en un receptor de una descarga de rayo directa. Las instalaciones que se encuentren alrededor de las líneas protegidas por el DDS, no sufrirán afectaciones si no están fuera del área de la esfera de influencia del DDS.

2. 2. Los voltajes transitorios en los conductores de fase que son inducidos normalmente por las elevaciones y caídas del campo eléctrico circundante, han probado ser también la causa del flameo (flashover), aún en las líneas de distribución de bajo voltaje.

Las pruebas de desempeño, fueron proporcionadas por el cliente que tiene instaladas 2 líneas en paralelo (Ver Figura 7), de cerca de 3.5 millas de longitud, operando a 13.8 KV y que corren a lo largo de la misma carretera. Una de las líneas, tuvo salidas de operación durante casi todas las tormentas, y su BIL fue menos de la mitad que el de la otra línea. LEC protegió esa línea con un Sistema Disipador Dual y a partir de entonces, no hubieron más salidas de operación de la línea relacionadas con rayos. La línea no protegida, mantuvo su promedio de salidas de operación.

El DDS, es un sistema de prevención contra rayos muy efectivo, pero su costo puede ser casi el doble de lo que cuesta un Sistema de Hilo de Guarda. Sin embargo, este es el único sistema para prevenir los rayos en un 100%.

## **2. 2. El Sistema Spline Ball Diverter (SBDS)**

Cuando es aceptable el riesgo de un pequeño número de salidas de operación de una línea, el SBDS de LEC, ofrece una alternativa muy efectiva a menor costo, cuando se compara con otras opciones. Su costo puede ser menos de la mitad, que el de un sistema de hilo de guarda convencional y resulta mucho más efectivo. Satisface con mucho, la alternativa de solución a la protección contra descargas eléctricas atmosféricas directas, sobre líneas de transmisión o distribución. Esto es, previene los rayos tanto en los conductores de fase, como en los hilos de guarda, colectando los rayos en las estructuras de soporte, que de otra manera, ocasionarían la salida de operación. El Spline Ball Ionizer<sup>®</sup> (SBI-48) de LEC, es un dispositivo patentado que ha probado ser un muy eficiente colector de rayos, como se ilustra en la

Figura 8. El SBI<sup>®</sup>, tiene más de 100 puntas, orientadas en todas direcciones. Los requisitos de esta configuración y su eficiencia para coleccionar los rayos, hacen evidente la información siguiente.



**IONIZADOR DE ESFERA ERIZADA (SBI<sup>®</sup>)**

UN DISPOSITIVO DE PROTECCION CONTRA DESCARGAS ELECTRICAS DE BAJO COSTO BASADO EN LA TECNOLOGIA DE LA PREVENCIÓN DE IMPACTOS DE RAYOS.

- Previene la mayoría de las descargas.
- Actúa sobre las nubes.
- Minimiza el potencial de daño.
- Total protección en edificios.
- Bajo costo.
- Baja resistencia al viento.
- Derivación del exceso garantizada.
- Fácil de instalar.
- 10 años de vida mínima.
- Listado en UL.

**CONCEPTOS Y CONSIDERACIONES DE LA PROTECCION**

Existen TRES clases de Sistemas de Protección contra descargas eléctricas:

- **COLECTOR DE DESCARGAS**  
Este es una forma de sistema de protección con un colector de descargas, un conductor derivador de corriente a tierra y un sistema de conexión a tierra.
- **PREVENCIÓN DE DESCARGAS**  
El Sistema de Arrigo de Descargas (DAS<sup>®</sup>) es el único sistema real de prevención de descargas. Impide las descargas colectando y disipando la carga inducida por la tormenta en el área en cuestión, instantáneamente, a través de una descarga puntual o una ionización. Para ser 100% efectivo, el DAS<sup>®</sup> es físicamente más grande y por lo tanto más caro.
- **UN CONCEPTO HIBRIDO**  
El dispositivo Híbrido es un conjunto (no un sistema) diseñado para proveer cierta capacidad de ionización, similar al DAS<sup>®</sup>. Sin embargo, en contraste con el DAS<sup>®</sup>, la limitada ionización del Híbrido reduce su capacidad para prevenir descargas. Bajo tormentas intensas, el Híbrido no puede impedir las descargas y es entonces el receptor de las descargas. Su rango de efectividad varía significativamente con el fabricante. La Figura 1 muestra el contraste en efectividad entre los tres conceptos.

**EL IONIZADOR DE ESFERA ERIZADA (SBI<sup>®</sup>)**  
En respuesta a las demandas del mercado, LEC ha elegido hacer un sistema de protección contra rayos de bajo costo a pesar de sus limitaciones. El resultado es nuestro Ionizador de Esfera Erizada (SBI<sup>®</sup>).

El SBI<sup>®</sup> incorpora los parámetros para una óptima disipación de carga para un ionizador pequeño de bajo costo.

La diferencia esencial entre el SBI<sup>®</sup> de LEC y los conceptos de la mayoría de sistemas está en sus usos y funcionamiento.

**USO DEL SBI<sup>®</sup> CON CHEM-ROD<sup>®</sup>**  
Cuando se instala un SBI<sup>®</sup> se recomienda que el cliente instale por lo menos un Chem-Rod<sup>®</sup> como electrode de descarga a tierra. Mejorará el rendimiento del SBI<sup>®</sup> tanto en la función de ionización como en la de disipación de descargas.

**GARANTIA**  
El SBI<sup>®</sup> está garantizado para funcionar como se ha especificado. Si el cliente no está satisfecho con el rendimiento durante el primer año, la garantía cubre la devolución total del dinero o el monto de la compra puede ser devuelto de la adquisición de un Sistema de Arrigo de Descargas que evitará todas las descargas.



**FIGURA 1**

**Lightning Eliminators & Consultants, Inc.**

1007 Waples Road  
Boulder, Colorado 80521 USA  
(303) 447-2829 FAX (303) 447-8127  
http://www.lightningeliminators.com  
E-mail: marketing@lightningeliminators.com

Law de México, S. A. de C. V.  
Calle de San Mateo No. 21-A  
Mercedal, Edo. de México  
Tels. 344 17 67 y 49 FAX 344 17 68

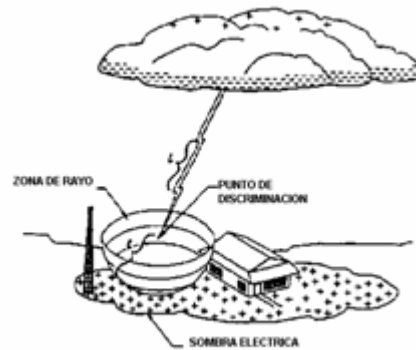
**FIGURA 8**

Un efectivo y más competitivo colector de impactos directos de rayo para líneas de transmisión y distribución, debe satisfacer dos criterios:

- a. a. Localizarse en el LUGAR CORRECTO, para interceptar cualquier descarga eléctrica atmosférica que PUEDA CAUSAR salidas de operación. Descargas eléctricas de baja energía, pueden ser ignoradas como no importantes.
- b. b. Poder crear el COLECTOR MÁS COMPETITIVO / GENERADOR DE FLÁMULA en el área indicada.

El LUGAR CORRECTO, está dentro de un volumen de forma hemisférica conocido como "La Zona del Rayo" (Figura 9). Uman (2) establece que la "distancia de interceptación del rayo" del líder de la descarga eléctrica atmosférica, está limitada entre 10 y 200 metros, y es directamente proporcional a la corriente que circula en el canal de descarga del rayo o

a la carga eléctrica dentro de la célula de tormenta. Por lo tanto, esta distancia define el radio de la zona potencial del rayo, la cual es igual a la “*distancia de interceptación del rayo*”. Los datos de Uman, muestran que la “flámula” (streamer) más competitiva dentro de la distancia de interceptación del rayo o zona de impacto, colectará al canal de descarga del rayo.



### **FIGURA 9. CONFIGURACIÓN DE LA ZONA DEL RAYO**

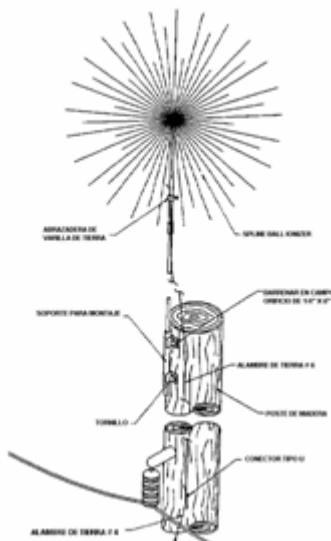
El COLECTOR MÁS COMPETITIVO, es una flámula (streamer) generada por algún dispositivo de carga estática de la tierra, que alcanza el primer canal de descarga que baja de la célula de tormenta. Para “ganar” la competencia del generador de flámula, deberá ser el más eficiente de esas fuentes de potenciales de flámulas dentro de la zona del rayo. Alternativamente, ENVIAR la flámula más competitiva DENTRO de la zona del rayo.

Investigaciones de la electrostática de la atmósfera, han demostrado que objetos terminados en punta inmersos en un campo electrostático de suficiente magnitud, generarán flámulas (streamers). Mientras más puntiagudo sea el objeto, más rápidamente se creará la flámula. El generador de flámulas más competitivo, deberá también estar orientado hacia el canal de descarga descendente, o al mismo eje. Sin embargo, el paso líder de la descarga, puede orientarse a cualquier dirección, el colector más eficiente, deberá tener puntas hacia adelante en todas direcciones, a las que el paso líder podrá alcanzar.

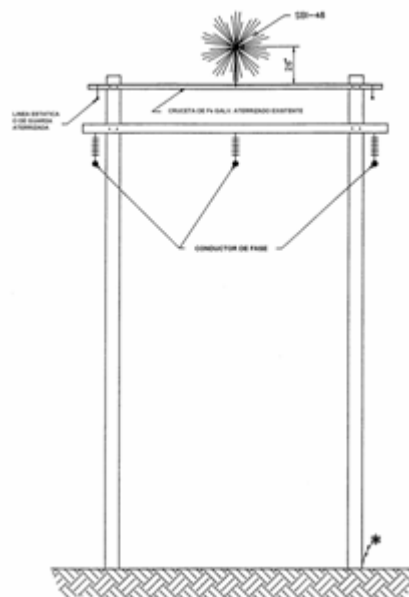
La habilidad del colector/generador de flámulas del SBI<sup>®</sup>, supera la de otros componentes que hacen que la protección a las líneas de transmisión y distribución, sea mayor por un importante margen, lo que

ha sido demostrado por diferentes pruebas (4). Excepto por la estructura de soporte en sí, solamente la flámula competitiva que podría adelantar un eventual flameo, vendría de los conductores de fase o de los hilos de guarda. Sin embargo, esos hilos tienen una superficie redonda y lisa, lo que limita o suprime la flámula, y no tiene una importancia contra una fuente de generación de flámulas de puntas. Es bien sabido, que superficies lisas y redondas, tienden a suprimir el efecto “corona” y subsecuentes flámulas. La electrostática demuestra, que la superficie lisa y redonda, MANTIENE una carga, y no generará flámulas fácilmente. Sin embargo, mientras mayor sea el diámetro del alambre, se requiere mayor voltaje inducido por el campo eléctrico, para producir la flámula, aún cuando el voltaje en esa línea es aumentado con el voltaje inducido por el campo electrostático. Las pruebas dicen, que los diámetros de los cables usados en líneas de transmisión y distribución, requieren de voltajes elevados para hacer que los cables produzcan una flámula capaz de coleccionar una descarga, en comparación con una fuente de puntas adecuada para este fin.

Por lo tanto, los conductores de fase e hilos de guarda, no representan ninguna competencia si se comparan con el SBI<sup>®</sup> de LEC. Ellos quedarían en gran desventaja con los SBI<sup>®</sup>, cuando los rayos potenciales estén dentro, o muy cerca, de la Esfera de Influencia del SBI<sup>®</sup>.

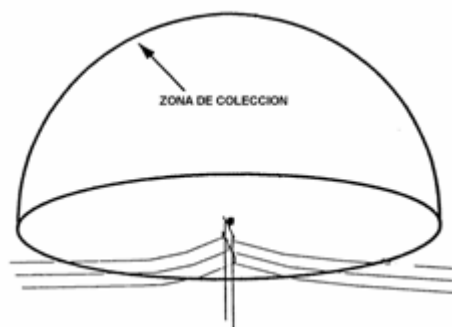


**FIGURA 10**



**FIGURA 11**

La única localización práctica para el colector SBI<sup>®</sup>, es en el tope de cada estructura de soporte. La Figura 10 ilustra una de esas instalaciones, así también, como se instalaría en un poste de una línea de distribución. La Figura 11, muestra la instalación del SBI, en una línea de transmisión de 115 KV de la Cía. Mississippi Power & Light Company. El tamaño y forma de la “Zona de Colección” del SBI, es mayor al tamaño y forma de una zona de descarga de rayo dada, pero rotada 180° como se ilustra en la Figura 12. Con el Sistema Spline Ball Diverter (SBDS), una “zona de colección de rayo”, se forma alrededor de cada estructura de soporte. El radio (ds), es al menos igual a la zona del rayo o a la distancia de interceptación de una descarga eléctrica para ser colectada, y se espera de un diámetro mucho mayor.



**FIGURA 12**

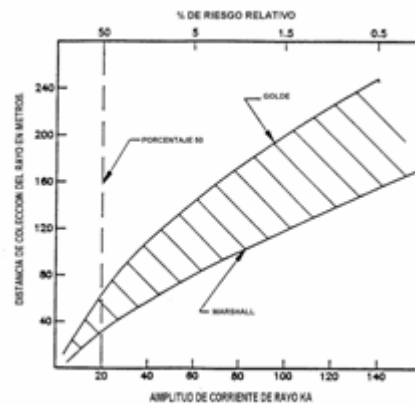
### FACTOR DE LAS LONGITUDES DE ESPACIO INTERPOSTAL

Un colector ideal de rayos, tiene algunas limitaciones en relación al rango de colección. Ese rango de terminación o interceptación de rayos, está relacionado con la longitud del espaciamentointerpostal o espacio entre estructuras de soporte, donde están instalados los SBI<sup>®</sup>.

Cuando se usan SBI<sup>®</sup>s como colectores y se montan en las estructuras de soporte de línea, la influencia de la distancia entre esos soportes o longitud de espaciamento, deberá relacionarse con la Zona de Rayo para esa línea. La figura 13, muestra el tamaño de la zona del rayo, en función de la corriente pico del rayo y el riesgo que representa ese rayo. El radio de la zona del rayo, es conocido por ser proporcional a la corriente pico en el canal de descarga del rayo. Puede variar de 15 a

160 metros para rayos de polaridad negativa. Los rayos de polaridad positiva, siempre producen grandes zonas de rayos, extendiéndose a más de 260 metros. Por lo tanto, usando el radio de la zona de rayo de los rayos de carga de polaridad negativa, para definir la zona de colección requerida para una línea dada, el BIL provee un diseño objetivo conservador. Cualquier zona de colección y relacionada con longitudes de espaciamiento interpostal, debe ser relacionada a la mínima corriente pico que iniciaría la salida de operación, la cual está en función del BIL de la línea y las características del sistema de aterrizaje. Sin embargo, deberá darse por entendido de que espacios interpostales moderadamente grandes, representan menor riesgo, el cual puede estimarse en la Figura 13.

La Tabla 6, muestra paso por paso, un proceso para el diseño de protección de líneas de transmisión y distribución, usando el SBDS con un SBI<sup>®</sup> instalado en cada estructura de soporte de línea para colección de rayos. Para la construcción de nuevas líneas de transmisión y distribución, este sistema ofrece las bases para determinar la longitud máxima de la distancia interpostal, que asegure la colección de todos los rayos. Resumiendo, debido a que las características como colector de rayos de las líneas con cables son muy limitadas, estas siguen encabezando al diseño más conservador.



**FIGURA 13. RELACIÓN DE LA MAGNITUD DE LA ZONA DEL RAYO. RIESGO DE LAS CORRIENTES DE PICO**

\* RADIO EN METROS



**TABLA 6**  
**Proceso para el Diseño de la Protección de una Línea de Transmisión o Distribución por Medio de SBI<sup>®</sup>, para Eliminar el Riesgo de Flameo (Flashover)**

1. 1. Definir el Voltaje de la Línea y el Nivel Básico de Aislamiento (BIL)	( $E_L$ )
2. 2. Estimar la Resistencia de Aterrizaje Propuesta para el Lugar	( $R_E$ )
3. 3. Calcular el Voltaje de Salida Relacionado	( $E_T$ )
4. 4. Calcular la Corriente de Surge de Salida Mínima Relacionada	( $I_S$ )
5. Determinar el Radio de la Zona de Rayo para la Corriente de Surge (el cual es Igual al Radio de Colección)	( $d_s$ )
6. 6. Calcular la “Longitud Mínima del Claro Interpostal” para tener al menos 2 veces el radio de colección. Mayores distancias o claros interpostales son posibles con un pequeño aumento en el riesgo de salidas.	( $2d_s$ )

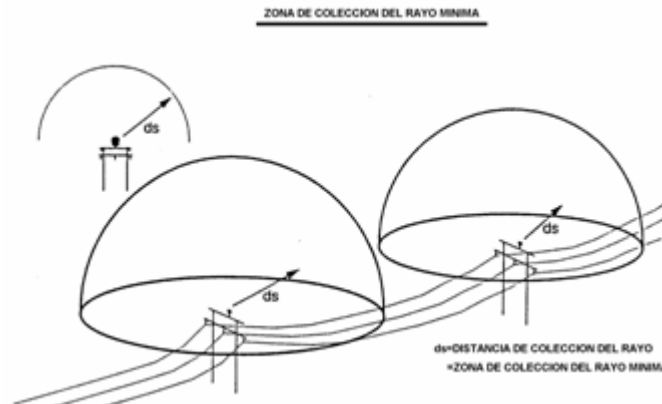
La Figura 14, muestra las Zonas de Colección del SBI<sup>®</sup> en el centro y circundando las estructuras de soporte de la línea. Cuando los claros interpostales son mayores a los que se consideran deseables, es necesario tomar en cuenta dos factores:

1. 1. Todos los rayos de mayor potencia serán colectados, ya que tienen mucho mayor zona de colección que la marginal y menor energía de impacto. Los rayos con corrientes pico bajas, no causarán salidas de operación. En el peor de los casos, solamente un pequeño porcentaje puede causar la salida de operación de la línea (estimado en la Figura 13).
2. 2. Ya que los únicos que pueden coleccionar los rayos, son los cables lisos y redondos de las líneas con claros de longitudes máximas, el riesgo de penetración por “rayos marginales” es muy baja o nula.

Cálculos hechos previamente, ofrecen datos que prueban ser muy conservadores. Estos datos resultan de dos factores como se muestra en la Figura 14, que es la zona de colección contra la zona del rayo potencial.

Esto no puede ser precisado por un soporte matemático, debido al factor “competencia”, entre los generadores del streamer o flámula potencial en el área de la media distancia interpostal. Los factores que influyen incluyen:

1. La competencia entre el SBI<sup>®</sup>, el colector óptimo y los cables de superficie lisa que no presentan competencia. El SBI<sup>®</sup> lanzará siempre una grande y más competitiva flámula.
- 2.



**FIGURA 14** El SBI<sup>®</sup>, no tiene que estar DENTRO de la zona del rayo. Si envía una flámula colectora, dentro de esa zona como se ilustra. Aún entonces, ganará la competencia, siempre y cuando no existan filamentos rotos en los cables de los conductores de fase, o alambres de tierra dentro de esa área.

La Tabla 7, enlista la distribución de corrientes pico en un grupo promedio de 100 impactos de rayo, como un resumen de los datos del Dr. Uman (2). También se enlistan los diámetros de la zona de rayo relacionada, y por tanto, la zona de colección de un SBI<sup>®</sup>, en una estructura de soporte de línea para esa corriente pico. Donde el radio de dos mitades del hemisferio son equivalentes a un diámetro, ese diámetro es también la longitud interpostal segura máxima, para la corriente pico de rayo relacionada.

**TABLA 7****Corrientes Pico en 100 Rayos a Líneas de Transmisión o Distribución**

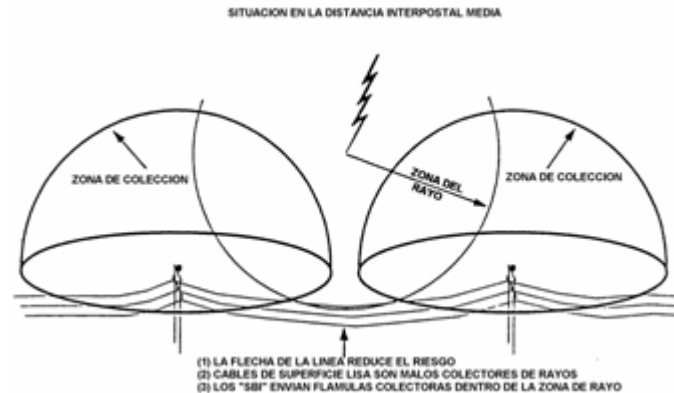
Número de Rayos Sobre 100*	Corriente Pico (Ka)	Zona de Rayo Diámetro (Pies)
2	< 10	100
8	10 – 15	130
10	15 – 20	150
10	20 – 25	200
10	25 – 28	250
20	30 +- 2	300
10	33 – 35	320
10	35 – 40	360
10	40 – 50	420
5	50 – 60	490
2	60 – 80	530
2	80 – 90	600
1	90 – 110	720

NOTA: \* Estos datos están basados en la premisa de que si 100 rayos impactan o terminan en cualquier punto de una línea de transmisión o distribución, en cualquier año dado, la distribución de la corriente inducida será aproximadamente como la listada arriba (si se han promediado más al menos sobre un período de 10 años).

### AUMENTO DE LA LONGITUD INTERPOSTAL “SEGURA”

La máxima corriente de pico de una descarga eléctrica atmosférica, terminando en cualquier línea dada que causará un flameo, está en función del BIL de la línea y la impedancia de surge del camino o medio de aterrizaje. Como se ilustró previamente, cuando el rayo termina en un SBI<sup>®</sup> montado en un poste, ese camino está formado por un conductor de bajada y un electrodo de tierra. Otros medios paralelos son de menor importancia. Cuando se usan torres o postes metálicos como conductores de bajada, la impedancia no se considera. Solamente los electrodos de tierra, adquieren una gran importancia como elementos del sistema de aterrizaje en su impedancia a tierra.

De estos datos, es evidente que la reducción de la Impedancia de Surge de la conexión a tierra, es de lo más importante para aumentar la seguridad de una posible “corriente de flameo”, y por lo tanto, permitir un incremento en una longitud del claro interpostal “seguro”. Para reducir la impedancia de interfase de aterrizaje, es necesario reducir tanto la inductancia del electrodo, como su resistencia DC a tierra, donde la impedancia es el producto de ambas.



**FIGURA 15** LEC ha desarrollado el electrodo CHEM-ROD<sup>®</sup>, un ELECTRODO DE TIERRA QUÍMICAMENTE ACTIVADO, diseñado para alcanzar esos objetivos simultáneamente en el mismo dispositivo. El CHEM-ROD<sup>®</sup>, provee ambas, la reducción de la resistencia DC, en menos del 4% de la que ofrece una varilla convencional equivalente en longitud (3/4" de diámetro y 10' de longitud), y una importante reducción en la impedancia de surge, menos del 5% de la de una varilla convencional. Además, el uso del Relleno Acondicionador de Tierra (GAF), puede representar importante reducción en la resistencia y la impedancia de surge a tierra. Estas ventajas son discutidas y ampliadas en otro documento técnico (12). Volviendo a las Tablas 2 y 3, es evidente que reduciendo la impedancia de 50Ohms a 25 Ohms, el voltaje inducido en los conductores de fase es casi la mitad. El CHEM-ROD, puede reducir ese voltaje en un veintavo (1/20).

## CONCLUSIONES

Las conclusiones de acuerdo con los datos anteriores, son muy claras. El desempeño de los Sistemas de Transmisión y Distribución en un medio de Descargas Eléctricas Atmosféricas, puede EFICIENTARSE significativamente.

Específicamente como se muestra a continuación:

1. 1. El “Hilo de Guarda” convencional (blindaje o hilo de tierra), es de uso marginal en el mejor de los casos, debido a la inductancia mutua entre el hilo de guarda y los conductores de fase.
2. 2. Los rayos colectados en las estructuras de soporte, reducen el riesgo de flameo y salidas de operación de la línea.
3. 3. El Sistema Colector de Spline Ball (SBCS) de LEC, atrae los rayos a las estructuras de soporte de las líneas, de esta manera, se previenen los rayos en el área del claro interpostal y se minimiza el riesgo de un flameo o arqueo entre líneas.
4. 4. El electrodo CHEM-ROD<sup>®</sup> de LEC, además reduce el riesgo de un flameo y la salida de operación de la línea, por medio de una reducción muy importante de la Impedancia de Surge, atravésde la interconexión con la tierra física.
5. 5. El Sistema Disipador Dual (DDS) PREVIENE TODOS LOS RAYOS Y LAS SALIDAS DE OPERACIÓN DE LAS LÍNEAS, pero es recomendable solamente, cuando el costo se justifique por la inversión, operación continua, riesgos y otros factores de la instalación que se pretenda proteger.

## **LISTA DE REFERENCIAS**

- (1) (1) Carpenter, Roy B., “Lightning Prevention for Transmission and Distribution Systems”, American Power Conference, Chicago, Vol. 49, 1987.
- (2) (2) Uman, Martin, “The Lightning Discharge”, Academic Press, 1987.
- (3) (3) Carpenter, Roy B., “Lightning Strike Protection, Criteria, Concepts and Configuration”, Reporte N° LEC-01-86, Revisado Agosto 1993.

- (4) (4) Grzybowski, Stan, "Effectiveness of Dissipators Used for Lightning Protection on 115 KV Transmission and 13 KV Distribution Lines" (Rev. 1). Reporte final fechado Enero 1992.
- (5) (5) Carpenter, Roy B. "New and More Effective Strike Protection for Transmission Distribution Systems", Diciembre 1992.
- (6) (6) Lightning Protection Manual for Rural Electric Systems, NRECA Proyecto de Investigación 82-5, 1983, REA Washington DC.
- (7) (7) Golde, R.H., "Lightning Performance of High Voltage Distribution Systems", Procedimientos del IEEE, 113 N° 4, Abril 1966.
- (8) (8) Eriksson, A.J., "The Incidence of Lightning Strikes to Power Lines", IEEE Transacciones en Entrega de Energía, Julio 3 1987.
- (9) (9) Merritt, S., "Design Charts to Relate Transmission Line Parameters to Flashover Probability", Union Camp Paper Co., Franklin, VA, 1988.
- (10) (10) Chalmers, Alton, "Atmospheric Electricity", Pergamon Press, 1967.
- (11) (11) Davis, Charles, "Lightning and Fiber Optics, Transmission & Distribution" World Expo 92, Indianapolis, Indiana, Noviembre 11, 1992.
- (12) (12) Carpenter, Roy B., "Designing for a Low Resistance Earth Interface", Lec inc. December 1994.