

SIMULACION DE DESCARGAS ATMOSFERICAS Y COMPORTAMIENTO DE PARARRAYOS

JACQUES TRECAT, Dr.
Facultad Politécnica de Mons (Bélgica)
HERNANDO MERCHAN, Ing.
Universidad de Cuenca

RESUMEN

El estudio presenta un breve análisis sobre la simulación de descargas atmosféricas en laboratorio, para lo cual se ha implementado un sistema de generación y medida de descargas de gran longitud y corta duración. Trata también sobre la metodología utilizada para determinar la eficiencia del sistema de medida mediante la aplicación de pulsos tipo escalón. Finalmente el trabajo propone un procedimiento experimental para probar pararrayos de varilla metálica, tipo Franklin.

ABSTRACT

This paper presents a brief analysis on laboratory lightning simulation. It is about the improvement of long discharges generation and measurement system for simulating lightning stroke. It includes the method used to determinate the measurement system efficiency and it proposes an experimental procedure to test lightning rods.

INTRODUCCION

El rayo es un fenómeno natural cuyos mecanismos de formación y descarga^{[1][2]} son muchos más complejos que aquellos que se logran crear en un laboratorio. No obstante, existen también grandes similitudes que permiten representar una descarga atmosférica con relativa aproximación al fenómeno real. La fase de propagación, el acercamiento del "líder" y la corriente de descarga, son algunas de estas semejanzas. Otros parámetros, tales como la velocidad de propagación, corriente, tensión, campo eléctrico, pueden ser calculados basándose en la geometría del modelo "nube-pararrayos-tierra" utilizado en el laboratorio.

SIMULACION

Campo eléctrico

Es de primordial importancia la representación adecuada de su evolución temporal, debido a su influencia en la formación de las pre-descargas y de la corona en las estructuras a nivel del suelo.

La fase preparatoria de ionización y luego la transición corona-líder, no son instantáneas y su sucesión depende de la velocidad de variación del campo a tierra $\delta E/\delta t$.

Las curvas de la figura 1, muestran que, en el transcurso del avance de los precursores descendentes, el campo cuyo crecimiento inicial

es lento, sufre una brusca aceleración en medida que se acerca a la superficie terrestre.

La técnica de laboratorio utilizada para simulación del campo consiste en lo siguiente: un electrodo de cobre en forma de placa circular (3.5 m. de diám.) se ubica a una determinada altura sobre un plano conductor a tierra. El electrodo debe ser completamente libre de corona. El objeto a estudiar (pararrayos de 2 m. de longitud) se instala conectado a tierra en el eje del intervalo placa-tierra donde se asume que el campo es homogéneo.

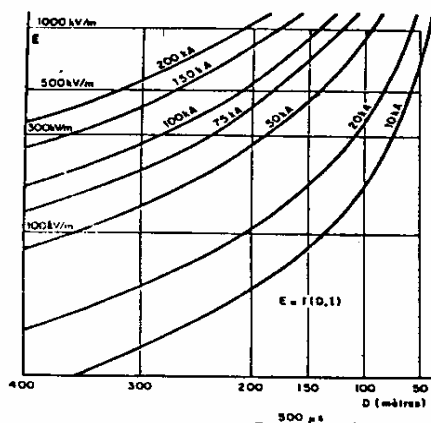


Fig. 1 Campo a tierra en función de la altura de la punta del precursor descendente, para diferentes valores de corriente del rayo.^[4]

Forma de la tensión aplicada

Consiste en una onda quasi-estacionaria y una componente de impulso que, actuando sucesivamente, simulan el campo natural creado por una nube y el acercamiento del precursor a tierra.

E_0 representa la componente quasi-estacionaria producida por la carga espacial en la base de la nube. Este valor oscila entre 15 y 25 kV/m, según las mediciones realizadas "in situ" antes de la descarga de un rayo.

E_i representa la componente del impulso inducido por la progresión descendente del precursor. (fig. 1)

Se adopta la polaridad negativa de la onda debido a que en la mayoría de los rayos, la parte negativa de la nube se descarga.

CIRCUITO EXPERIMENTAL

El propósito de obtener ondas que simulen componentes E_0 y E_1 se ha utilizado un generador convencional de impulso, multietapas, llamado que ha sido parcialmente modificado como indica la figura 2.

La tensión de carga (-) de cada condensador C, se aplica simultáneamente al intervalo placa-varilla, creando así la componente E_0 hasta que produzca la descarga de los explosores E, tanto en el que se presenta el impulso que generará la componente E_1 .

En ese instante, el explosor E9 descarga al mismo tiempo que los demás, permitiendo así la salida de la señal a través del divisor de tensión.

CIRCUITO DE MEDIDA

El sistema ha sido adaptado de manera que permita la adquisición, en cada impulso, de las siguientes señales:

- Los pulsos de corriente de predescarga
- La corriente de descarga
- La amplitud y la forma de la onda de tensión
- El tiempo de retardo a la descarga

El circuito permite además la medición simultánea de las señales de tensión y de corriente.

El divisor de tensión es de tipo capacitivo con una respuesta de tiempo inferior a 18 ns. El condensador CM (fig. 2) es de 1.2 nF conectado en paralelo con el de carga CB de 4 nF. La señal de tensión es canalizada a los equipos de medida, mediante una transmisión optoelectrónica que utiliza un sistema emisor-receptor Le Croy 5413 con ancho de banda entre 150 Hz y 50 Mhz. En la figura 4 se muestran los enlaces entre los diferentes equipos, tanto del circuito de generación como el de medida.

En lo referente a la medición de corriente, se ha utilizado dos sondas Pearson tipo transformador de impulso. En la figura 4 se observa: SP1 (1V/A) mide los impulsos de predescarga y SP2 (0,1 V/A) hace lo propio con la corriente de descarga. Cada sonda está conectada a transmisiones optoelectrónicas independientes, detalle que se puede observar en la figura 3.

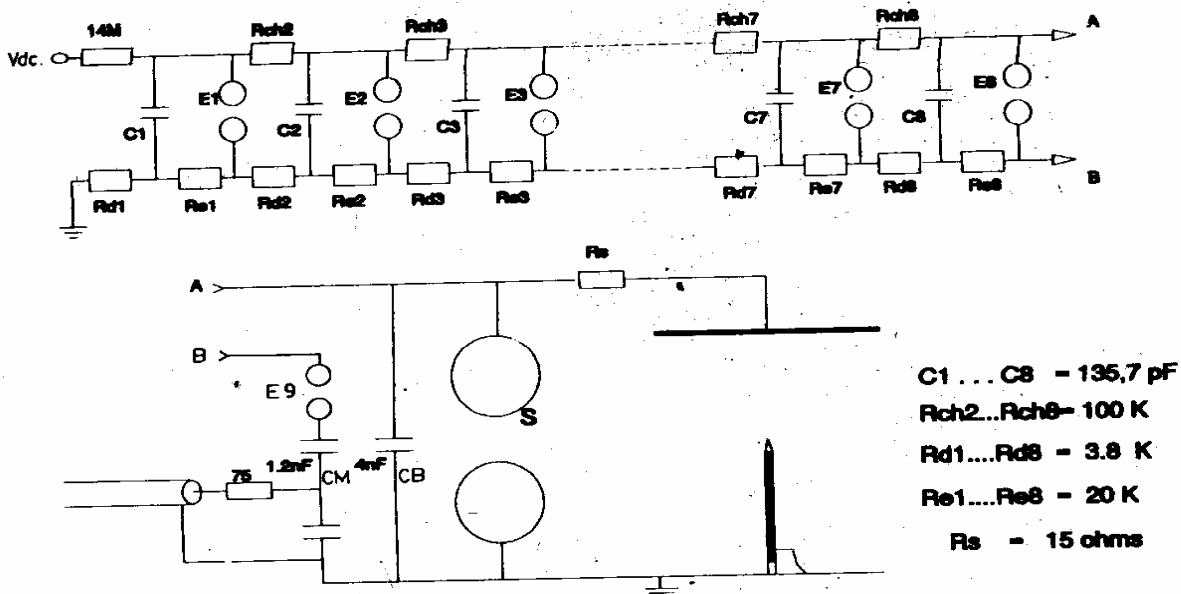
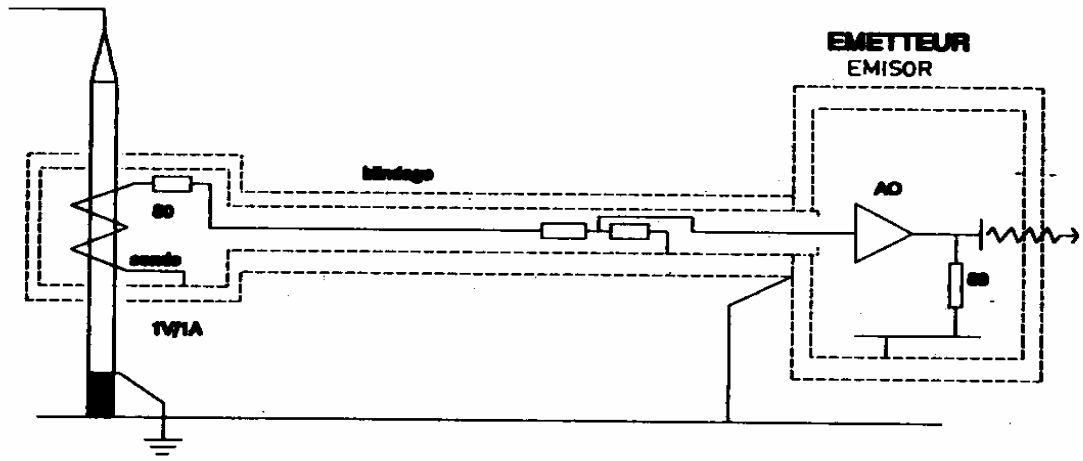
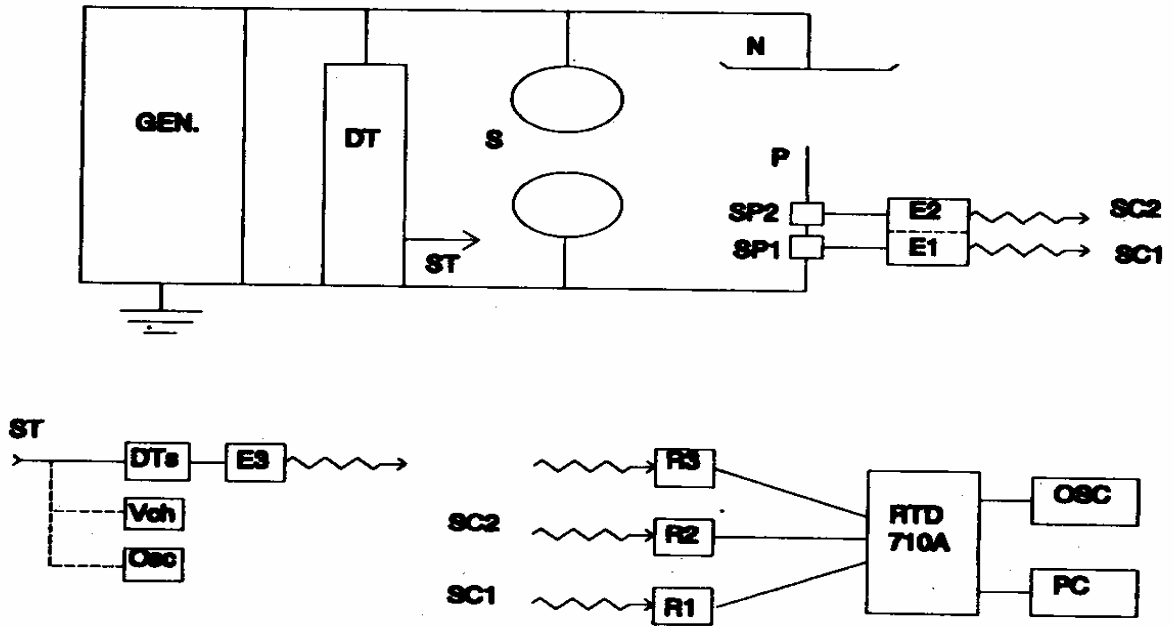


Fig.2 GENERADOR DE IMPULSO, DIVISOR DE TENSION E INTERVALO PLACA-VARILLA



-Fig.3. Conexión de la sonda al pararrayos.



GEN. generador de impulso/ SP sondas de corriente/ DT, DTs: div. de tensión/ ST, SC señal de tensión, corriente/
 RTD, PC: digitalizador, comput./ E,R: emisor, receptor/ N,P: placa, pararrayos/
 S, Vch, Osc: espinterómetros, voltímetro de impulso, osciloscopio

Fig.4 Diagrama de bloque del conjunto generación-medida

Prueba del sistema de medida.

Con el propósito de establecer la eficiencia y confiabilidad del sistema de medida, el conjunto "sonda-conexión al emisor" ha sido sometido a prueba con la aplicación de impulsos de corriente tipo escalón, producidos por una línea de retardo cerrada sobre su impedancia característica.

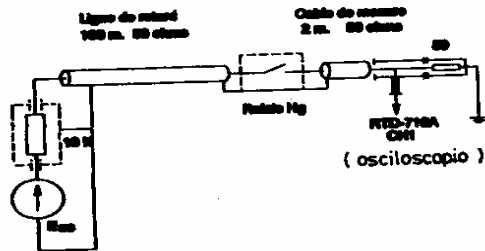


Fig.5 Medida directa del escalón de corriente

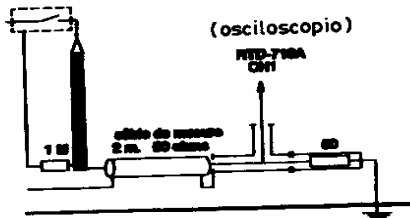


Fig. 6 Medida del escalón a través del pararrayos

El resumen de los resultados de la prueba se presentan en la siguiente tabla:

Condiciones de medida	Amplitud V	A	Tiempo de subida ns	Duración del escalón ns	
Medida directa	51.40	1.028	7.83	1033	
Medida del escalón, incluye pararrayos y sondas	directa	50.65	1.013	40.70	1072
	SP 1V/A	—	1.023	47.75	1072
Tensión de línea: 100 Vdc	directa	58.8	1.016	43.38	1075
	SP 0.1V/A	—	1.083	42.48	1077

Tabla 1. Resumen de los resultados

Estas observaciones nos permiten deducir que:

- el efecto que produce la presencia del pararrayos en el circuito de la línea de retardo, se manifiesta por el aumento del tiempo de crecimiento de la onda (de 7,83 ns a 40,7 ns) y por la aparición de una componente oscilatoria de pequeña amplitud respecto a la amplitud del escalón. Podemos, por lo tanto, inferir que el pararrayos no se comporta como una impedancia nula.

- las sondas reproducen el escalón con muy pequeñas diferencias en cuanto a la amplitud y tiempo de crecimiento de la onda.

En la figura 7 se pueden observar los registros de las pruebas realizadas:

7a.- medida directa (circuito de la fig. 5)
7b.- influencia del pararrayos (fig. 6)
7c,d.- respuesta de las sondas Pearson (fig. 3)

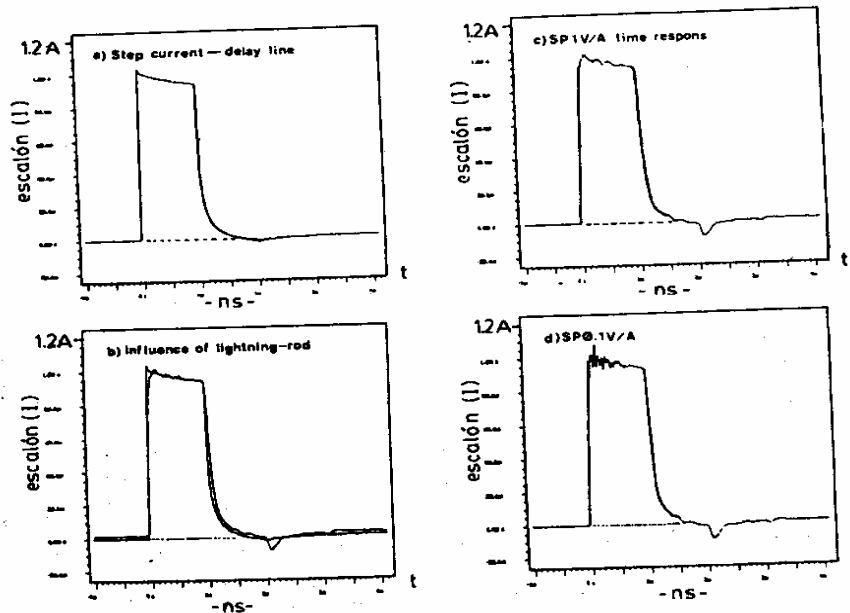


Fig. 7 Respuesta de tiempo del sistema de medida al escalón de corriente.

PRUEBAS EN PARARRAYOS

Una de las aplicaciones inmediatas que se realizaron con los circuitos descritos, ha sido la de someter a pruebas de comparación, bajo similares condiciones, dos tipos de pararrayos a los que se les ha aplicado la onda de tensión mixta antes mencionada.

La primera estructura consiste en una varilla convencional (pararrayos clásico PC) y la segunda es la misma estructura provista de un dispositivo de ionización en la punta (PDA).

Las pruebas consistieron en los siguientes criterios de comparación:

a) *Comparación de la tensión y frecuencia de descarga (perforación del intervalo).* Variación de este y aplicación sucesiva de un gran número de impulsos.

b) *Determinación de la frecuencia de descarga y del tiempo promedio a la descarga.* Estas medidas fueron realizadas mediante el uso de las transmisiones optoelectrónicas (fig.4; señales 2 y 3).

c) *Adquisición de registros de las corrientes de predescarga.* Para proteger la transmisión óptica (fig. 4: SP1-E1-R1) cuya sensibilidad es 1000 veces mayor a la del sistema SP2-E2-R2 que mide la corriente de descarga, se ha cortado la onda de tensión con la ayuda de los espinterómetros S, calibrados para descargar las esferas en el frente de onda, a un tiempo ligeramente inferior al tiempo mínimo observado durante la etapa b de la prueba.

a) Comparación de la frecuencia de descarga^[3]

Los dos pararrayos PC y PDA, cuya altura es de 2m. han sido instalados como lo muestra la figura 2, y probados uno a la vez. La foto 1 nos permite apreciar el momento de la perforación del intervalo. Al fondo, el generador y divisor de tensión; en primer plano, la placa y el pararrayos.

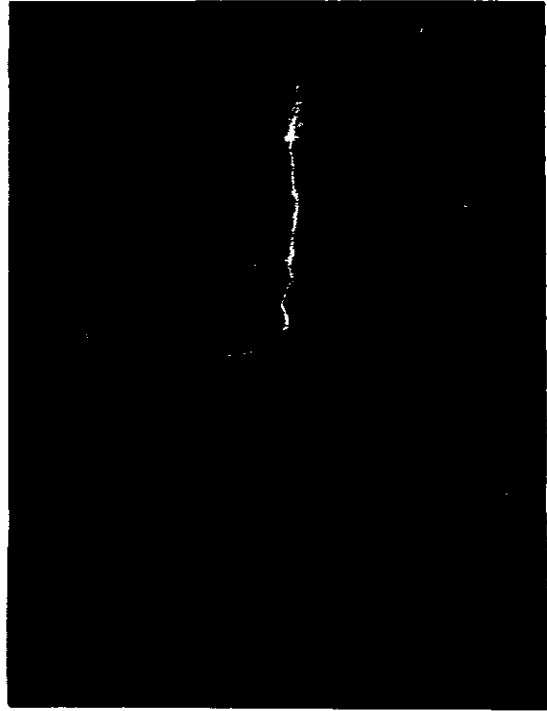


Foto 1.- Perforación del intervalo

PRIMEROS RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación guardan relación con los procedimientos a) y b) mencionados anteriormente. Los resultados de c) cuyo análisis estadístico es más complejo, se reportan en la referencia [3].

TEST	1	2	3	4	5	6
Número de impul/pararr	100	50	50	50	50	50
Intervalo [cm]	60	80	108,2	108,5	136	150
Componente continua [kV]	63	83	110,5	109	136	147
Prestión [mmHg]	767	771	773	771,5	771	774
Temp. [°C]	18,5	19	16	18,5	18,5	18,5
Humedad rel. [%]	52	45	46	45	47	51
Densidad relativa del aire	1,014	1,018	1,031	1,020	1,020	1,024

Tabla 2.- SINTESIS DE LAS CONDICIONES DE PRUEBA

TEST	1		2		3		4		5		6	
	PC	PDA	PC	PDA	PC	PDA	PC	PDA	PC	PDA	PC	PDA
Interval. [cm]	60		80		108,2		108,5		138		150	
N. impuls.	100	100	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
f. [%]	50	52	82	74	75	80	50	60	76	68	22	26
V _t . [kV]	206	206	275	282	377	377	370	371	472	474	514	516
V _t . [kV]	195	196	281	264	358	352	353	347	443	438	487	484

Tabla 3.- RESULTADOS

f = número de descargas/número de impulsos

(*) Amplitud de la onda mixta (promedio sobre el número de impulsos no descargados en el intervalo)

(**) Valor de la tensión de perforación (promedio sobre el número de impulsos que perforan el intervalo)

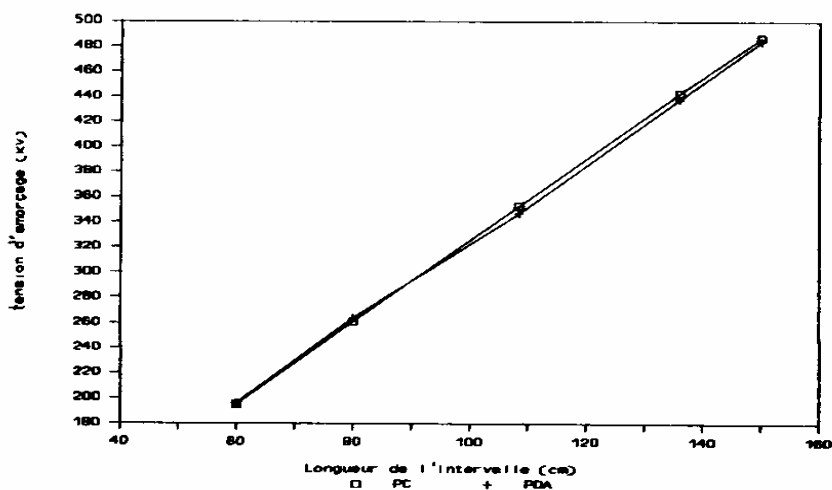


Fig.8 Comparación de la tensión de perforación

b) Determinación de la frecuencia de descarga y del tiempo promedio a la perforación.^[3]

Veinte y cinco impulsos consecutivos, con una pausa de aproximadamente 20 s. entre dos observaciones sucesivas, han sido aplicadas a cada pararrayos (PC y PDA). La distancia del intervalo (108 cm) entre la placa y la punta del pararrayos ha permanecido constante.

El resumen de las condiciones de prueba se presentan en la siguiente tabla:

	PC	PDA
Densd. relat. δ	1.011	1.020
Presión (mm Hg)	758	763
Temperatura (°C)	16	15.5
Humedad abs. (g/m ³)	5.2	5.5
Compnte. cont. (kV)	110	110
Amplitud de la onda mixta (kV)	419	410
Pendiente promedio de la tensión (kV/ms)	2033	1853

TABLA 4.

Para la frecuencia de descarga los resultados nos dan un valor del 84% para el PC y 76% para el PDA, en 25 observaciones/muestra.

El tiempo promedio a la perforación medido en los registros de tensión y corriente en el momento de la descarga en cada uno de los pararrayos, fue el siguiente: 291.4 μ s. para PC y 274,6 μ s para PDA.

CONCLUSIONES

El propósito de este trabajo fue la contribución a la puesta en marcha de un sistema de generación y medida de impulsos que permita abordar una nueva etapa en las pruebas con descargas eléctricas que simulen los rayos.

Muchos laboratorios en el mundo trabajan en este mismo empeño, cada uno aporta sus experiencias, ayudando a corregir errores y a optimizar métodos. El sistema descrito en este trabajo, permite actualmente obtener ondas de impulso cuyas características están en concordancia con las recomendaciones de muchos investigadores en este campo. Igual para el sistema de medida que permite la adquisición y tratamiento de un gran número de datos obtenidos en las pruebas.

En lo que respecta a la aplicación del sistema, es decir al estudio comparativo de los pararrayos, se menciona algunos criterios sacados de los resultados obtenidos.

- la comparación de la tensión de perforación permite probar, mediante un número estadísticamente suficiente de pruebas, que los dos pararrayos comparados, activo y no-activo, descargan a un mismo nivel de tensión para los intervalos considerados (de 60 a 150 cm.)

- los resultados obtenidos con el sistema de medición optoelectrónico para la determinación simultánea de la frecuencia de descarga y el tiempo promedio a la perforación, muestran igualmente similares valores de probabilidad teórica con 25 observaciones: 84% para la varilla clásica y 76% para el pararrayos activo. Para el tiempo de perforación, 291,4 μ s. para la varilla y 274,6 μ s. para el dispositivo activo, teniendo este último una ventaja del 6%.

Para terminar, el autor espera que este aporte sea útil en el campo de los trabajos que sobre este tema puedan llevarse a cabo en los laboratorios de alta tensión que existen en el país, principalmente en la Escuela Politécnica Nacional y en la Universidad de Cuenca, dado la importancia que representará la protección personal y de equipos eléctricos, electrónicos e informáticos, frente a las manifestaciones destructivas de las descargas atmosféricas.

REFERENCIAS

- [1] GARY C.; Les propriétés diélectriques de l'air et les très hautes tensions, II partie La Foudre; EDF, Paris; 1984
- [2] BOUQUEGNEAU C., La Foudre: physique et protection; FPMs., Belgique; 1989
- [3] BARAN I.; Simulation of strikes of lightning rods; FPMs.; Belgium.; 1992
- [4] GARY C.; HUTZLER B.; Simulation de la foudre; Laboratoire de l'impact, au sol; EDF, Paris; 1989
- [5] MERCHAN H.; Comportement de paratonnerres sous décharges atmosphériques simulées en laboratoire; Tesis de Maestría en Ciencias Aplicadas; Fac. Politécnica de Mons, Bélgica; 1992.

AUTORES

TRECAT Jacques. Nació en Bélgica en 1940. Obtuvo su grado de Ingeniero Civil Electricista en la Facultad Politécnica de Mons de ese país en 1963. En la Universidad de Manchester UMIIST. (Inglaterra) obtuvo su grado de Ph.D. en 1970. Es Profesor, Jefe del Servicio de Redes Eléctricas y Alta Tensión, en la Facultad Politécnica de Mons y su campo de investigación está también orientado al desarrollo de los Sistemas Expertos y a la Visión Asistida por computador.

MERCHAN Hernando. Nació en 1956. Ingeniero Eléctrico de la EPN en 1983. Ha realizado estudios de especialización en Italia (Energía no convencional, 1986), Alemania y Francia (Técnicas de las altas tensiones y disparo artificial de los rayos, 1991, 1992). Obtuvo su diploma de Maestría en Ciencias Aplicadas en la Facultad Politécnica de Mons (Bélgica) en 1992. Desde 1982 está a cargo de la cátedra de Alta Tensión en la Universidad de Cuenca.
