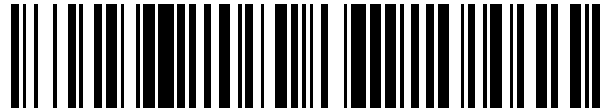


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 547 638**

51 Int. Cl.:

**H02G 13/00**

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.03.2012 E 12720234 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.07.2015 EP 2692036**

54 Título: **Procedimiento e instalación de protección contra el rayo utilizando un pararrayos con dispositivo de cebado que comprende una fuente de radiación electromagnética**

30 Prioridad:

**31.03.2011 FR 1152727**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

**07.10.2015**

73 Titular/es:

**INDELEC (100.0%)  
61 Chemin des Postes  
59500 Douai, FR**

72 Inventor/es:

**LEFORT, LOUIS, ARNAUD**

74 Agente/Representante:

**LEHMANN NOVO, María Isabel**

**ES 2 547 638 T3**

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

**DESCRIPCION**

Procedimiento e instalación de protección contra el rayo utilizando un pararrayos con dispositivo de cebado que comprende una fuente de radiación electromagnética

**Ambito técnico**

- 5 La presente invención se refiere al ámbito de la protección contra el rayo. La misma tiene por objetos principales un procedimiento y una instalación de protección contra el rayo que utilizan un pararrayos de tipo PDA (pararrayos con dispositivo de cebado) que comprende un nuevo tipo de dispositivo de cebado.

**Técnica anterior**

- 10 El rayo es un fenómeno natural difícilmente previsible que se traduce por una descarga eléctrica de alta intensidad, que puede tener efectos destructores importantes.

15 Cuando una nube de tormenta se forma por encima de una zona de la corteza terrestre, se carga acumulando cargas eléctricas por fenómenos de convección y otros fenómenos aún mal conocidos. Se produce una segregación de las cargas según su signo, su altitud y la temperatura que varía de forma importante. La configuración encontrada en más del 90% en las regiones con clima templado conduce a una base de nube de tormenta cargada negativamente. Pequeñas «bolsas» de cargas positivas pueden igualmente encontrarse confinadas en la base de la nube. El suelo por debajo de la nube de tormenta se polariza localmente de forma positiva por efecto de espejo por debajo de la base de la nube de tormenta.

Así, entre el suelo y la base de la nube de tormenta se forma un campo eléctrico denominado «campo de tormenta».

- 20 Con buen tiempo, se puede medir en la superficie de la corteza terrestre y sobre terreno plano un campo eléctrico denominado «de buen tiempo», típicamente del orden de 100 V/m a 150 V/m, debido a cargas positivas situadas en altitudes del orden de los 50 km. Durante el desarrollo de un proceso tormentoso, el campo eléctrico «de la tormenta» que se forma entre la base de la nube y el suelo, presenta una polaridad inversa al campo eléctrico medido con buen tiempo y puede llegar típicamente a valores medios de -15 kV/m a -20 kV/m.

- 25 El aire forma un aislante eléctrico muy bueno. Así, no obstante de esta enorme diferencia de potencial entre la base de la nube de tormenta y el suelo, una descarga eléctrica correspondiente a la formación del rayo no puede producirse. Un aumento muy fuerte del campo eléctrico local favorece el desencadenamiento de esta descarga eléctrica.

- 30 Por otro lado, es conocido que la menor desigualdad en el suelo actúa como un concentrador de las líneas equipotenciales de campo eléctrico y aumenta localmente el campo eléctrico. Este aumento local del campo eléctrico se denomina «efecto de pico». Cada desigualdad, según su altura y su grado de afilamiento, se caracterizará por su propio coeficiente de amplificación del campo por efecto de pico.

- 35 Gracias a esta amplificación local del campo eléctrico por efecto de pico en la cima de una desigualdad, se puede observar una ionización local del aire en la proximidad de la cima de una desigualdad, si el campo eléctrico es superior, en valor absoluto, típicamente de 26 kV/cm. Cada electrón arrancado por ionización del aire es fuertemente acelerado por el campo eléctrico local. Cuando la energía del electrón es suficiente, puede, entrando en colisión con un átomo, arrancar otro electrón, y así sucesivamente, acelerando la ionización del aire en la proximidad de la desigualdad por un fenómeno denominado «de avalancha electrónica».

- 40 En la práctica, este fenómeno de avalancha electrónica se produce si el campo eléctrico alcanza localmente al menos aproximadamente 30 kV/cm. Esta ionización del aire por un fenómeno de avalancha electrónica provoca un efecto denominado «couronne», también llamado efecto «Corona» que puede ser el precursor del relámpago, y que se traduce por la emisión en la proximidad de una desigualdad de la emisión de una luz corona. En la práctica, este efecto corona es observado en la cima de los puntos más elevados (postes, edificios, árboles...).

- 45 Sin embargo, el aumento local del campo eléctrico por efecto de pico disminuye muy rápidamente en el espacio. Si el campo eléctrico ambiente no es suficiente, esta ionización (efecto corona) no puede propagarse y permanece confinada alrededor de la desigualdad.

- 50 Lo más corriente, es que la formación del rayo comience por una o varias descargas eléctricas descendentes de la nube de tormenta. Estas descargas eléctricas se denominan comúnmente trazadores descendentes, o también «downward stepped leaders». Un trazador descendente, cuando se aproxima al suelo, provoca un brusco aumento del campo eléctrico global y por consiguiente del campo eléctrico local a nivel de cada desigualdad del suelo. Este brusco aumento del campo eléctrico combinado con el efecto de pico provoca la intensificación del efecto corona sobre las desigualdades del suelo las más altas y las más afiladas. Cuanto más se aproxima el trazador descendente al suelo, más aumentan el campo eléctrico global y el campo eléctrico local en la cima de una

desigualdad. El efecto corona en la proximidad inmediata de una desigualdad aumenta entonces fuertemente para pasar al modo impulsado y la ionización del aire en la proximidad inmediata de la asperidad tiende a propagarse hacia lo alto bajo la forma de un «streamer». Sin embargo, cuanto más se aleja de la desigualdad, más disminuye el coeficiente de amplificación del efecto de pico. A partir de una cierta distancia, las condiciones de campo no son ya  
 5 suficientes para llevar esta ionización («streamer») hacia lo alto. Este límite se estima en aproximadamente 5 kV/cm. Se produce entonces la recombinación de las cargas, permaneciendo el efecto corona confinado en la proximidad de la desigualdad, y el ciclo comienza de nuevo. Sin embargo, durante este tiempo, el campo eléctrico global continúa aumentando aproximándose siempre el trazador descendente al suelo.

En el transcurso de uno de los ciclos, un «streamer» encontrará las correctas condiciones de campo para propagarse libremente hacia lo alto bajo la forma, de un trazador ascendente que va al encuentro del trazador descendente.  
 10

Cuando un trazador ascendente encuentra un trazador descendente, se establece un canal conductor. Este canal conductor permite a la nube de tormenta descargarse hacia el suelo evacuando sus cargas (relámpago) por el arco de retorno («return stroke») y los arcos subsiguientes. Una vez descargada la nube de tormenta, su potencial se reduce fuertemente, y la nube de tormenta se carga de nuevo para el próximo relámpago.  
 15

Esta descarga eléctrica rápida de alta intensidad puede ser fuertemente destructora, en particular para las instalaciones industriales o domésticas. Con el fin de proteger una zona o una instalación en el suelo contra el rayo, es habitual instalar en altura al menos un pararrayos, por ejemplo en el tejado de un edificio a proteger, con el fin de captar el rayo y evacuar a tierra la descarga eléctrica impulsional de alta intensidad que acompaña al rayo. Un pararrayos comprende típicamente, en su versión más sencilla, al menos un electrodo colector, en forma lo más a menudo de una barra metálica, colocada en alto. Este electrodo metálico colector comprende un extremo libre que puede ser muy afilado en forma de punta o que puede ser redondeado, y está conectado eléctricamente a tierra, por un cable eléctricamente conductor del equivalente. Este electrodo colector tiene por función favorecer, por efecto de pico, la formación de trazadores ascendentes en el acercamiento de trazadores descendentes, con el fin de  
 20 aumentar la probabilidad de que un trazador descendente de la nube de tormenta establezca un contacto con un trazador ascendente producido por el electrodo colector, más bien que con un trazador ascendente producido por cualquier otra desigualdad de forma no superada.

Desde hace tiempo, con el fin de mejorar la eficacia de los pararrayos, se ha propuesto asociar con el electrodo colector inerte de un pararrayos medios de cebado activos o pasivos que permitan desencadenar más rápidamente el efecto corona y acelerar la formación de un trazador ascendente. Estos medios de cebado actúan provocando una ionización adicional del aire en la proximidad del extremo libre del electrodo colector y consisten por ejemplo en descargas de alta tensión. Estos pararrayos perfeccionados son corrientemente designados por PDA (Paratonnerre à dispositif d'amorçage) (Pararrayos con dispositivo de cebado)). Ejemplos de PDA se describen particularmente en las solicitudes de patente francesas FR 2.590.737 y FR 907037, y FR 1.478.526.  
 30

Los dispositivos de cebado conocidos, entre otros del tipo de descargas de alta tensión, no son directivos y no permiten ionizar el aire en un volumen blanco preciso. Además, requieren una sincronización precisa del disparo con relación a la evolución del campo magnético con el fin de no desencadenar demasiado prematuramente o demasiado tarde la ionización adicional. Sistemas de disparo automático del dispositivo de cebado han sido por consiguiente desarrollados. La solicitud de patente francesa anteriormente citada FR 2.590737 describe por ejemplo un sistema de disparo automático basado en una detección de la variación del campo eléctrico. La solicitud de patente francesa FR 2 943 487 describe por ejemplo un sistema de desencadenamiento automático basado en una detección óptica del efecto corona.  
 35  
 40

Por otro lado se ha propuesto ya mejorar el funcionamiento de un pararrayos formando un canal ionizante para facilitar la formación de un trazador ascendente y para guiar el trazador ascendente hasta el trazador descendente, por medio de uno o varios haces de láser de potencia muy fuerte. Se puede hacer referencia a este respecto a la solicitud de patente francesa FR 2 750 806, a la solicitud de patente europea EP 2 184 826, a las patentes americanas US 4 017 767, US 5 175 664, US 5 726 855, US 6 072 684 y a la solicitud de patente internacional WO 98/01929.  
 45

La utilización de láseres impulsados de potencia muy fuerte para la formación de un trazador ascendente y su guiado por medio de un canal ionizante ha sido objeto igualmente de numerosos estudios en laboratorio. En este tipo de solución, se tienen que utilizar láseres impulsados de intensidad muy elevada, típicamente superior al GW/cm<sup>2</sup> y que pueden en algunos casos llegar hasta 10TW/cm<sup>2</sup>, con el fin por una parte de aportar a las moléculas contenidas en el aire suficiente energía para obtener directamente una ionización del aire, y por otra parte con el fin de formar una canal de guiado ionizante suficientemente extendido. Se utilizan generalmente láseres impulsados, con impulsos ultracortos del orden de algunos femtosegundos.  
 50  
 55

Estos láseres impulsados de intensidad muy elevada son extremadamente costosos de fabricar, de forma que sepa la Firma solicitante esta solución se ha quedado en la mayoría de los casos hasta la fecha en fase de estudio a pequeña escala en laboratorio o en el mejor de los casos en fase de prototipo a escala real. La utilización de un

láser en un pararrayos para desencadenar el efecto corona y formar un canal de guiado ionizante que permita guiar el trazador ascendente puede parecer seductora en teoría, pero en la práctica se muestra hasta la fecha inexplorable comercialmente.

**Objetivo de la invención**

5 Un objetivo de la invención es proponer una nueva solución técnica de cebado de la descarga del rayo en un pararrayos. Esta nueva solución permite una ionización eficaz del aire, y es menos engorrosa, particularmente en términos de sincronización, que las soluciones actuales basadas en la utilización de descargas de alta tensión. Esta nueva solución es igualmente claramente menos costosa de fabricar que las soluciones de la técnica anterior basadas en la utilización de láseres impulsados de intensidad muy elevada.

10 **Resumen de la invención**

La invención tiene así por primer objeto un procedimiento de protección contra el rayo por medio de un pararrayos que comprende un electrodo colector, que comprende un extremo libre que permite crear un efecto de pico.

15 De forma característica según la invención, se emite al menos una radiación electromagnética que se focaliza en un plano de focalización sobre el indicado extremo libre del electrodo colector o en la proximidad inmediata del indicado extremo libre del electrodo colector, y

- (i) la distancia (d) entre el extremo libre del electrodo y el centro (O) de la radiación electromagnética (F) en el plano de focalización no sobrepasa los 10 cm, y/o
- (ii) la intensidad (I) de la radiación electromagnética en el plano de focalización es inferior a  $1000\text{W}/\text{cm}^2$ .

20 De preferencia, pero no necesariamente la radiación electromagnética es una radiación «luminosa» con longitud de onda comprendida entre los 80nm y los 900nm, y más preferentemente aún entre los 80 nm y los 450nm.

25 En la invención, la focalización de la radiación electromagnética sobre o en la proximidad inmediata del extremo libre del electrodo colector permite ventajosamente, y de forma nueva, combinar el aporte de energía por la radiación electromagnética y el efecto de pico (amplificación del campo eléctrico local en el extremo libre del electrodo) con el fin de obtener una ionización del aire en la proximidad inmediata del extremo libre del electrodo. Así a diferencia de las soluciones anteriormente citadas de la técnica anterior que utiliza un láser impulsado de intensidad muy elevada para crear un canal de guiado ionizado, la radiación electromagnética de la invención puede ventajosamente presentar una intensidad muy baja.

30 De forma ventajosa según la invención, la radiación electromagnética puede en una variante simplificada de realización ser emitida constantemente, sin que sea necesario sincronizar de forma precisa su disparo. En una variante de realización más sofisticada, y en un intento principalmente de economizar energía, la emisión de la radiación electromagnética puede no obstante dispararse automáticamente, por ejemplo a partir de una medición del campo eléctrico o de la variación del campo eléctrico y/o a partir de una detección óptica del efecto corona.

35 La invención tiene igualmente por objeto una instalación de protección contra el rayo. De forma conocida, esta instalación comprende un pararrayos y un dispositivo de cebado, comprendiendo el pararrayos un electrodo colector que comprende un extremo libre que permite crear un efecto de pico.

40 De forma característica según la invención el mencionado dispositivo de cebado comprende una fuente de radiación electromagnética y medios de focalización que permiten focalizar la radiación electromagnética emitida por la fuente sobre el indicado extremo libre del electrodo o en la proximidad inmediata del indicado extremo libre del electrodo colector.

La invención tiene igualmente por objeto la utilización de la instalación anteriormente citada para proteger una zona contra los impactos del rayo.

**Breve descripción de los dibujos**

45 Otras características y ventajas de la invención aparecerán más claramente con la lectura de la descripción detallada dada a continuación de varias variantes de realización de la invención, cuyas variantes se describen a título de ejemplos no limitativos y no exhaustivos de la invención y haciendo referencia a los dibujos adjuntos en los cuales:

- la figura 1 representa de forma esquemática una primera variante de realización de una instalación de la invención,
- 50 - la figura 2 representa de forma esquemática una segunda variante de realización de una instalación de la invención,

- la figura 3 es una ampliación de la instalación de la figura 1 en la zona de focalización del láser,
- la figura 4 es una ampliación de la instalación de la figura 2 en la zona de focalización del láser,
- la figura 5 es un esquema que muestra un electrodo en forma de punta y los efectos de concentración de las líneas equipotenciales de campos asociados con «el efecto pico», así como la disminución del factor de amplificación  $k$  del efecto de pico en función de la distancia con relación al ápice de la punta,
- la figura 6 se representa en el transcurso de un fenómeno de descarga (relámpago) la evolución en el tiempo (curva A) del campo eléctrico local en la proximidad del electrodo y la evolución en el tiempo (curva B) de la intensidad de la corriente en el electrodo colector.

### Descripción detallada

10 Haciendo referencia a la figura 1, en una primera variante particular de realización, la instalación para la protección contra los impactos de rayo comprende un pararrayos que incluye un electrodo colector 1 y un dispositivo de cebado que comprende una fuente láser 2, una fibra óptica 3 conectada con la salida de la fuente láser 2, y medios ópticos de focalización 4 que permiten una focalización del haz láser a la salida de la fibra óptica 3.

15 En este ejemplo particular, el electrodo colector 1 comprende una barra hueca metálica 1a, conectada a tierra por una conexión 1b eléctricamente conductora. La barra 1 comprende una parte alta 1c afilada que termina por un extremo libre 1d de pequeña sección transversal y que permite crear un efecto de pico. La parte distal afilada 1c de la barra presenta una sección transversal decreciente hasta su extremo libre 1d. Este extremo libre 1d constituye el ápice de la parte alta afilada 1c de la barra 1a. La geometría de la sección transversal de la barra 1a es indiferente para la invención, y puede ser circular, cuadrangular, etc.

20 La barra 1a del electrodo 1 se instala de preferencia en altura, por ejemplo fijándose en el tejado de un edificio a proteger o estando soportada por un mástil.

La fuente láser 2 y una parte de la fibra óptica 3 están alojadas en el interior de un cuerpo de protección C de forma que queden protegidos particularmente contra las agresiones exteriores, los golpes mecánicos y contra los efectos de las radiaciones electromagnéticas.

25 La otra parte de la fibra óptica 3 y los medios ópticos de focalización 4 están alojados en el interior de la barra hueca 1a.

A la altura de su extremo libre 1d, la barra 1a del electrodo 1 está abierta con el fin de permitir el paso del haz láser F después de la focalización por los medios ópticos de focalización 4.

30 El dispositivo de cebado comprende además una fuente de alimentación eléctrica 5, un circuito de control 6 de la fuente láser 2, y un circuito de detección 7. Todos estos elementos están alojados en el cuerpo de protección C. De forma conocida en sí, el circuito de detección 7 está conectado con al menos un captador (no representado) que permite por ejemplo una detección del campo eléctrico ambiente o de la variación del campo eléctrico ambiente y/o con un captador que permite una detección óptica del efecto corona.

35 La fuente de alimentación eléctrica 5 permite alimentar eléctricamente la fuente láser 2, el circuito de control 6, y el circuito de detección 7.

En esta variante de realización sofisticada, la puesta en funcionamiento y la parada de la fuente láser 2 son accionadas automáticamente por el circuito de control 6 a partir de la señal de detección 7a proporcionada por el circuito de detección 7.

40 En una variante de realización simplificada, la puesta en funcionamiento y la parada de la fuente pueden ser realizadas de forma manual por un operario, no comprendiendo el dispositivo de cebado necesariamente en este caso un circuito de control 6 y un circuito de detección 7.

45 Los medios ópticos de focalización 4 pueden estar constituidos por cualquier medio conocido que permita realizar una focalización óptica del haz proporcionado por la fuente láser 2 en un plano de focalización P (figura 3). Los medios ópticos de focalización 4 pueden por ejemplo comprender una lente óptica L, un sistema de varias lentes alineadas o cualquier otro medio de focalización de la radiación electromagnética.

En referencia a la figura 2, se designa en el presente texto por «plano de focalización», el plano P en el cual la sección transversal del haz focalizado F es mínimo, es decir en el caso de un haz láser de tipo gaussiano, el plano P en el cual el «waist» («radio de anillo») del haz láser focalizado F es mínimo. En este plano de focalización P, la energía del haz es máxima.

50 Conforme a una característica importante de la invención, los medios ópticos de focalización 4 permiten focalizar el haz láser en un plano de focalización P de tal forma que el punto láser en este plano de focalización P esté situado en la proximidad inmediata (figura 3 o 4; distancia  $d$  no nula) del indicado extremo libre 1d del electrodo colector 1 o

5 corta el mencionado extremo libre 1d (figura 3 o 4; distancia  $d = 0$ ; focalización del haz láser sobre el extremo libre 1d del electrodo 1). En las figuras 3 y 4, el eje de propagación del haz láser focalizado F está referenciado con  $A_L$ ; el eje longitudinal central vertical de la barra 1a del electrodo 1 está referenciado con  $A_P$ ; la distancia d es la distancia entre el extremo libre 1d del electrodo 1 y el centro O de la radiación electromagnética focalizada F en el plano de focalización P.

En la figura 2 se ha representado, otra variante de realización, que se diferencia de la de la figura 1 principalmente por el hecho de que:

- la barra metálica 1a del electrodo 1 es maciza y presenta una parte alta 1c en forma de punta,
- la fibra óptica 3 y los medios ópticos de focalización 4 no están alojados en la barra 1a, sino que están alojados y soportados en el interior de un soporte 8 adicional que es hueco y está aislado eléctricamente.

En referencia a la figura 1 o a la figura 2, cuando se forma una nube de tormenta 10, uno o varios trazadores descendentes 11 que llevan cargas eléctricas 12 se forman, y el campo eléctrico global entre el extremo inferior del trazador descendente 11 y el extremo libre 1d de la barra 1a aumenta. Cuanto más se aproxima el trazador descendente al suelo, más aumenta el campo eléctrico global.

15 En el espacio nube/suelo, se repartirán líneas de campo eléctrico (verticales) y líneas equipotenciales (horizontales), estando todos los objetos en el suelo al potencial del terreno. Estas líneas equipotenciales siguen los relieves del suelo. En la cima de las desigualdades, y por consiguiente en el extremo libre 1d de la barra 1a (figura 5), se observa una concentración de estas líneas equipotenciales que produce un aumento del campo, corrientemente llamada «efecto de pico». Este efecto de pico en el extremo libre 1d de la barra 1a se caracteriza por un coeficiente de amplificación k. Si el campo eléctrico ambiente global de tormenta equivale a  $E_0$ , el campo eléctrico local en el extremo libre 1d de la barra 1 equivale a  $E = E_0 \times k$ .

25 De forma conocida, el coeficiente de amplificación k del efecto de pico de la barra 1a dependerá de la forma afilada de la barra 1a. En particular, el coeficiente de amplificación k depende del radio de curvatura del extremo libre 1d de la barra. Así de forma conocida, cuanto más pequeño es el radio de curvatura del extremo libre 1d de la barra 1a, más importante es el coeficiente de amplificación k. Así, en el caso de una barra 1a tal como la de la figura 1 o la figura 2, este coeficiente de amplificación k es muy importante y puede ser superior a 100.

De preferencia, el radio de curvatura del extremo libre 1d del electrodo 1 será inferior a un radio de curvatura crítico que vale 30cm.

30 En referencia a la figura 5, se apreciará igualmente que cuanto más se aleja del extremo libre 1d del vástago 1a (distancia d), más rápidamente disminuye el coeficiente de amplificación k.

Gracias a este aumento local del campo eléctrico («efecto de pico»), se observa la aparición de un «efecto corona» (ionización del aire) en el extremo libre 1d de la barra 1a.

En referencia a la figura 6, el efecto corona es el fenómeno precursor en la creación del trazador ascendente y se desarrolla en varias fases.

35  $t_0$ : un trazador descendente 11 (figura 1 o figura 2) se forma a partir de la nube de tormenta 10, lo cual provoca un brusco aumento (en valor absoluto) del campo eléctrico local a nivel del electrodo 1 (curva A)

40 Fase 1: Una molécula neutra contenida en el aire que circunda el extremo libre 1d del electrodo 1 se ioniza por un acontecimiento exterior (por ejemplo por interacción con un fotón) y un ión positivo y un electrón son liberados. Estas dos partículas al ser de cargas inversas, el campo eléctrico crea en cada una de ellas una fuerza eléctrica igual en norma pero de sentido opuesto y las separa, impidiendo su recombinación y aportándolas una energía cinética importante. Cuando el campo eléctrico es suficiente (típicamente  $E > 30\text{kV/cm}$ ), el electrón al ser de masa mucho más pequeña que el ión, es fuertemente acelerado por el campo eléctrico, y entra en colisión con átomos neutros, lo cual tiende a crear nuevos pares de electrones/iones positivos, que seguirán el mismo proceso. Se habla de efecto avalancha. La producción de iones positivos, al desplazarse en el sentido del campo, se producirá un «colchón» de cargas positivas, lo cual tiene por efecto disminuir el campo en la proximidad de la punta y detener temporalmente la ionización. Si el campo eléctrico ambiente no es suficiente, esta ionización (efecto corona) no puede propagarse y permanece confinada alrededor del extremo libre 1d del electrodo 1. Durante este tiempo el trazador descendente 11 sigue su bajada y el campo eléctrico continua aumentando.

50 Fase 2: Cuando el campo eléctrico local en la proximidad inmediata del extremo libre 1d del electrodo 1 alcanza un umbral suficiente, el efecto corona en la proximidad inmediata del extremo libre 1d del electrodo 1 aumenta entonces fuertemente para pasar al modo impulsado y la ionización del aire en la proximidad inmediata del extremo libre 1d del electrodo 1 tiende a propagarse hacia lo alto en forma de un «streamer». Sin embargo, cuanto más se aleja del extremo libre 1d del electrodo 1, más disminuye el coeficiente de amplificación k del efecto de pico. A partir de una cierta distancia, las condiciones de campo no son ya suficientes para llevar esta ionización («streamer») hacia lo alto. Este límite se estima en aproximadamente 5kV/cm. Se produce entonces una recombinación de las cargas,

permaneciendo el efecto corona confinado en la proximidad del extremo libre 1d del electrodo 1 y el ciclo comienza de nuevo. Sin embargo, durante este tiempo, el campo eléctrico global continúa aumentando, acercándose siempre el trazador descendente 11 al suelo.

Fase 3: En el transcurso de uno de los ciclos, un «streamer» encontrará las buenas condiciones de campo para propagarse libremente hacia lo alto en forma de un trazador («leader») ascendente que irá al encuentro del trazador descendente. Cuando este trazador ascendente encuentra un trazador descendente, se establece un canal conductor. Este canal conductor permite a la nube de tormenta descargarse hacia el suelo evacuando sus cargas a tierra por el arco de retorno («return stroke») por medio del electrodo 1 del pararrayos, lo cual se traduce por un aumento muy brusco de la intensidad de la corriente en el electrodo colector 1 (curva B).

Fase 4: Una vez descargada la nube de tormenta, el campo eléctrico (curva A) disminuye bruscamente, luego la nube de tormenta se recarga para el próximo relámpago.

Cuando el dispositivo de cebado de la invención es activo, la fuente láser 2 emite un haz láser que es focalizado por los medios ópticos de focalización 4 bajo la forma de un haz F focalizado sobre o en la proximidad inmediata (plano de focalización P) del extremo libre 1d del electrodo 1. En el plano de focalización P, la intensidad del haz láser focalizado F es máxima: Gracias a la combinación del aporte de energía por el haz láser focalizado F y por el efecto de pico (amplificación del campo eléctrico local) en el extremo libre 1d del electrodo 1, se favorece la ionización del aire en la proximidad inmediata del extremo libre 1d del electrodo 1, lo que permite ventajosamente acelerar la formación en el tiempo de un trazador ascendente, en comparación con la misma instalación contra el rayo sin utilización del láser de cebado.

En el marco de una variante simplificada de realización de la invención, la fuente láser 2 puede emitir continuamente el haz láser focalizado F, independientemente de cualquier sincronización con relación a las fases 1 a 4 anteriormente citadas. En una variante de realización más sofisticada, el circuito de detección 7 y el circuito de control 6 están concebidos para poner en funcionamiento de forma automática la fuente láser 2, en el transcurso de la fase 1, y para detener automáticamente la fuente láser cuando ha terminado la tormenta.

Gracias a los efectos combinados del efecto de pico y del aporte de energía por el haz láser focalizado F, el láser puede ventajosamente tener una intensidad baja, y no es necesario dentro del marco de la invención utilizar un láser impulsado de intensidad muy fuerte.

La energía aportada por el haz láser focalizado F puede por otro lado, llegado el caso, ser más baja que la energía normalmente requerida para obtener una ionización completa del aire con la ayuda de la sola radiación electromagnética. Esto podría explicarse por el hecho de que el efecto de concentración de las líneas equipotenciales de campo eléctrico inherente al efecto de pico aproximarían por efecto Stark los niveles de energías de los átomos de las moléculas de nitrógeno y de las moléculas de oxígeno, cuyos átomos por este motivo necesitarían fotones menos energéticos para ionizarse liberando un electrón. La Firma solicitante no está sin embargo ligada por esta explicación realizada a posteriori.

De preferencia, pero no necesariamente, el láser puede así ventajosamente ser un láser continuo de poca intensidad. La utilización de un láser impulsado puede no obstante igualmente ser considerada dentro del marco de la invención.

Para una intensidad dada del láser, el aporte de energía depende de la longitud de onda del haz láser. En teoría, habida cuenta del potencial de ionización muy elevado del nitrógeno, una longitud de onda óptima correspondería al ámbito denominado «VUV» (vacío ultra-violeta). Sin embargo, hasta ahora no existe láser que trate dentro de esta gama de longitudes de ondas. Por consiguiente, para la realización de la invención se utiliza de preferencia hasta ahora un láser dentro de la gama de longitudes de onda de los UV, o sea entre aproximadamente 80nm y aproximadamente los 450 nm.

La invención no se limita sin embargo a la utilización de una fuente láser 2 con una longitud de onda dentro de esta gama particular de longitudes de onda. Es posible utilizar otras longitudes de onda para el láser, pero en este caso la intensidad del láser deberá ser más importante.

La invención tampoco se limita a la utilización de una fuente láser 2, sino que se extiende más generalmente a la utilización de una fuente 2 apta para emitir una radiación electromagnética, de preferencia dentro de la gama de longitudes de onda entre los 80 nm y los 900 nm.

En un ejemplo particular de realización dado únicamente a título indicativo, la fuente láser 2 y los medios ópticos de focalización 4 estaban concebidos para emitir un haz láser continuo focalizado F, con una longitud de onda de 405nm, con potencia PU equivalente a aproximadamente 200mW, con un diámetro D del haz láser focalizado F dentro del plano de focalización P que equivale a 2 mm.. La intensidad I del láser en el plano de focalización P ( $I = 4PU/\pi D^2$ ) equivalen a aproximadamente  $6,4W/cm^2$ . La energía total U aportada por el láser durante un tiempo t de aproximadamente  $100 \mu S$  [tiempo de la descarga (fase 1 a 3) durante el relámpago] equivaldría a aproximadamente  $2 \cdot 10^{-5} J$  ( $U = PU \cdot t$ ). La distancia d entre el plano de focalización P y el extremo libre 1d del electrodo 1 era inferior a 0,5cm.

La invención no se limita al láser continuo que presenta las características particulares indicadas anteriormente.

5 Dentro del marco de la invención, la fuente láser 2 puede igualmente ser un láser impulsado. En el caso de un láser impulsado, la intensidad  $I$  del láser dentro del plano de focalización  $P$  es la intensidad por impulso y puede de forma usual calcularse por la fórmula siguiente:  $I = U/At_i$ , en la cual  $U$  es la energía total (en Julios) por impulso,  $A$  es la superficie del haz láser dentro del plano de focalización  $P$  ( $A = \pi D^2/4$  en el caso de un haz de sección transversal circular), y  $t_i$  es la duración de un impulso.

10 Más generalmente, gracias a la combinación del efecto de pico y del aporte de energía por el haz láser focalizado  $F$ , el haz láser focalizado puede ventajosamente tener una intensidad baja, típicamente una intensidad medida dentro del plano de focalización  $P$  inferior a  $1000\text{W}/\text{cm}^2$ , de preferencia inferior a  $100\text{W}/\text{cm}^2$ , y más preferentemente aún inferior a  $10\text{W}/\text{cm}^2$ .

Tal como se ha explicado anteriormente, el coeficiente  $k$  del efecto de pico disminuye muy rápidamente, cuando se aleja del extremo libre 1d del electrodo 1 (figura 5). Por consiguiente, con el fin de poder beneficiarse de este efecto de pico, conviene dentro del marco de la invención focalizar la radiación electromagnética lo más próxima al extremo libre 1d del electrodo 1.

15 De preferencia, con el fin de beneficiarse del efecto de pico, la focalización del haz láser  $F$  (o más generalmente de la radiación electromagnética) se realiza de tal forma que la distancia (figura 3 y figura 4) que separa el extremo libre 1d del electrodo 1 y el centro  $O$  del punto del haz láser focalizado  $F$  en su plano de focalización  $P$  no exceda de 10cm. De preferencia esta distancia  $d$  será inferior a 4 cm, y más preferentemente aún inferior a 2 cm y todavía más preferentemente inferior a 0,5cm. Esta distancia  $d$  puede ser nula (focalización en el extremo libre 1 d del electrodo 1).

20 Se apreciará que en las figuras 3 y 4, el plano de focalización  $P$  es  $H$  posicionado en la proximidad inmediata del extremo libre 1d del electrodo 1, y por el exterior del electrodo. En otra variante, la focalización del haz láser  $F$  (o más generalmente de la radiación electromagnética) puede ser realizada de tal forma que el plano de focalización  $P$  se posicione en la proximidad inmediata del extremo libre 1d del electrodo 1, pero por el interior del electrodo 1 cuando este es hueco como en la variante de la figura 1.

25 La invención no se limita a los ejemplos de electrodo 1 de las figuras adjuntas sino que puede ser utilizado con cualquier tipo de electrodo colector de pararrayos conocidos y que comprenda un extremo libre que permita obtener un efecto de pico, es decir una amplificación local del campo eléctrico. En particular, el extremo libre del electrodo puede en otra variante ser de forma esférica. Igualmente un electrodo colector puede comprender varias barras que comprendan cada una un extremo libre que permita obtener un efecto de pico.

30 En otra variante de realización, la invención puede igualmente comprender varias fuentes de radiación electromagnéticas con longitudes de onda diferentes.



## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de protección contra el rayo por medio de un pararrayos que incluye un electrodo colector (1), que comprende un extremo libre (1d) que permite crear un efecto de pico, en el cual se emite al menos una radiación electromagnética (F) que se focaliza en un plano de focalización (P) sobre el indicado extremo libre (1d) del electrodo colector (1) o en la proximidad inmediata del indicado extremo libre (1d) del electrodo colector (1), **caracterizado por que** la distancia (d) entre el extremo libre (1d) del electrodo y el centro (O) de la radiación electromagnética (F) en el plano de focalización (P) no excede los 10 cm, y/o la intensidad (I) de la radiación electromagnética en el plano de focalización (P) es inferior a  $1000\text{W}/\text{cm}^2$ .
2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la radiación electromagnética es un haz láser continuo.
- 10 3. Procedimiento según la reivindicación 1, en el cual la radiación electromagnética es un haz láser impulsado.
4. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, en el cual la radiación electromagnética presenta una longitud de onda comprendida entre los 80nm y los 900nm.
5. Procedimiento según la reivindicación 4, en el cual la radiación electromagnética presenta una longitud de onda comprendida entre los 80 nm y los 450nm.
- 15 6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el cual la distancia (d) entre el extremo libre (1d) del electrodo y el plano de focalización (P) en el cual se focaliza la radiación electromagnética (F) es inferior a 4cm, de preferencia inferior a 2cm, y más preferentemente aún inferior a 0,5cm.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, en el cual el electrodo colector (1) comprende una parte distal (1c) ahusada cuya sección transversal disminuye hasta el extremo libre (1d).
- 20 8. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el cual el radio de curvatura del electrodo (1) a nivel de su extremo libre (1d) es inferior a 30cm.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el cual el electrodo (1) está hueco y el extremo libre (1d) del electrodo está abierto, y en el cual la radiación electromagnética focalizada (F) se emite a través del indicado extremo libre (1d) abierto.
- 25 10. Instalación de protección contra el rayo que comprende un pararrayos y un dispositivo de cebado, comprendiendo el pararrayos un electrodo colector (1) que comprende un extremo libre (1d) que permite crear un efecto de pico, comprendiendo el indicado dispositivo de cebado una fuente (2) de radiación electromagnética y medios ópticos de focalización (4) que permiten focalizar la radiación electromagnética emitida por la fuente en un plano de focalización (P) sobre el indicado extremo libre (1d) del electrodo colector (1) o en la proximidad inmediata del indicado extremo libre (1d) del electrodo colector (1), **caracterizada por que** la distancia (d) entre el extremo libre (1d) del electrodo y el centro (O) de la radiación electromagnética (F) en el plano de focalización (P) no excede los 10cm, y/o la intensidad (I) de la radiación electromagnética en el plano de focalización (P) es inferior a  $1000\text{W}/\text{cm}^2$ .
- 30 11. Instalación según la reivindicación 10, en la cual la fuente (2) es un láser continuo.
- 35 12. Instalación según la reivindicación 10, en la cual la fuente (2) es un láser impulsado.
13. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 12, en la cual la fuente (2) permite la emisión de una radiación electromagnética con una longitud de onda comprendida entre los 80nm y los 900nm.
14. Instalación según la reivindicación 13, en la cual la fuente (2) permite la emisión de una radiación electromagnética con una longitud de onda comprendida entre los 80nm y los 450nm.
- 40 15. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14, en la cual la distancia (d) entre el extremo libre (1d) del electrodo y el plano de focalización (P) en el cual se focaliza la radiación electromagnética (F) es inferior a 4 cm, de preferencia inferior a 2cm, y más preferentemente aún inferior a 0,5 cm.
16. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 15, en la cual el electrodo colector (1) comprende una parte distal (1c) ahusada cuya sección transversal disminuye hasta el extremo libre (1d).
- 45 17. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 16, en la cual el radio de curvatura del extremo libre (1d) del electrodo (1) es inferior a 30 cm.
18. Instalación según una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 17, en la cual el electrodo (1) está hueco y el extremo libre (1d) del electrodo está abierto, y en la cual la fuente (2) y los medios ópticos de focalización (4)

permiten la emisión de dicha radiación electromagnética focalizada (F) a través del indicado extremo libre (1d) abierto.

**19.** Utilización de la instalación considerada en una cualquiera de las reivindicaciones 10 a 18 para proteger una zona contra los impactos del rayo.

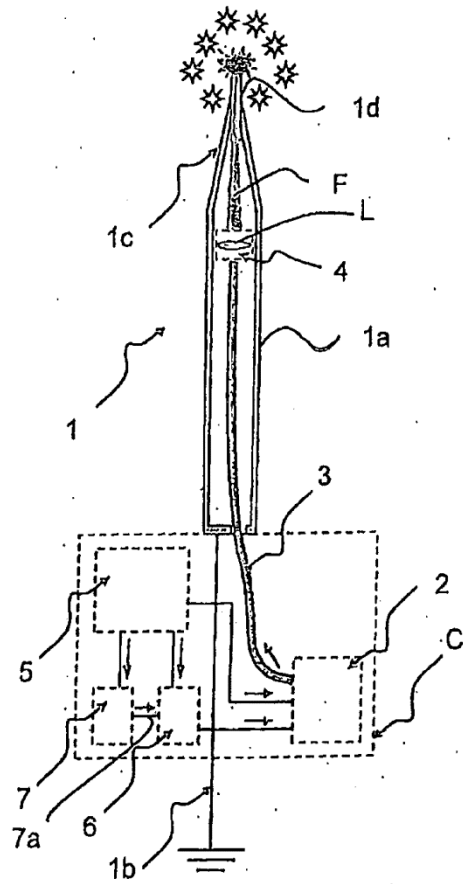
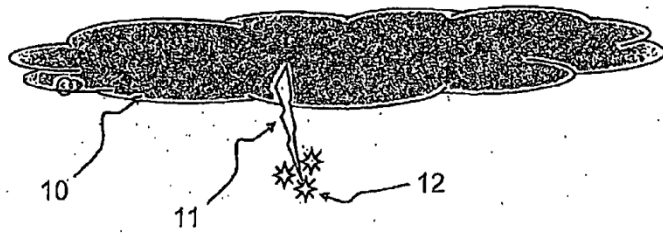


FIG. 1

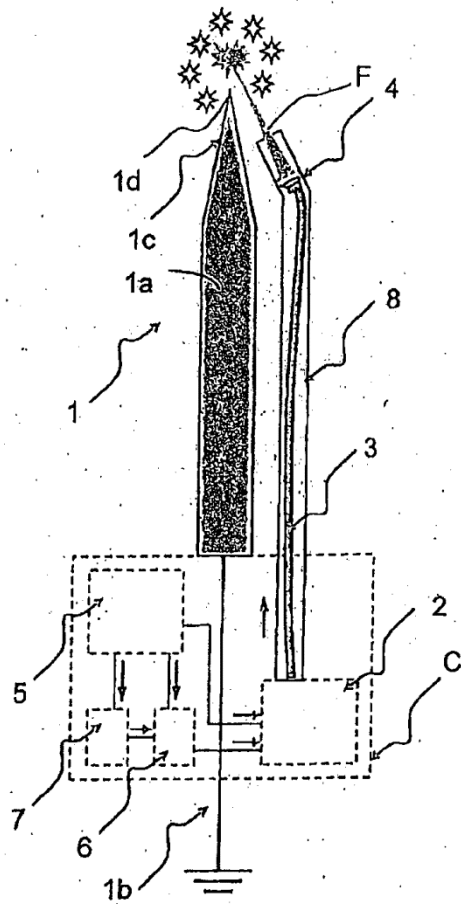
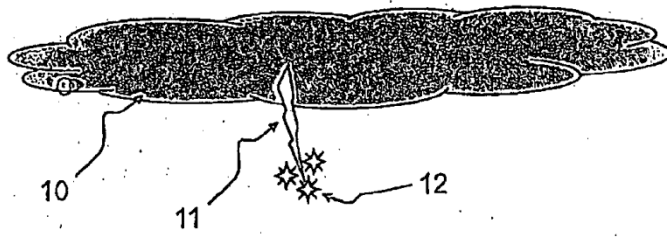


FIG. 2

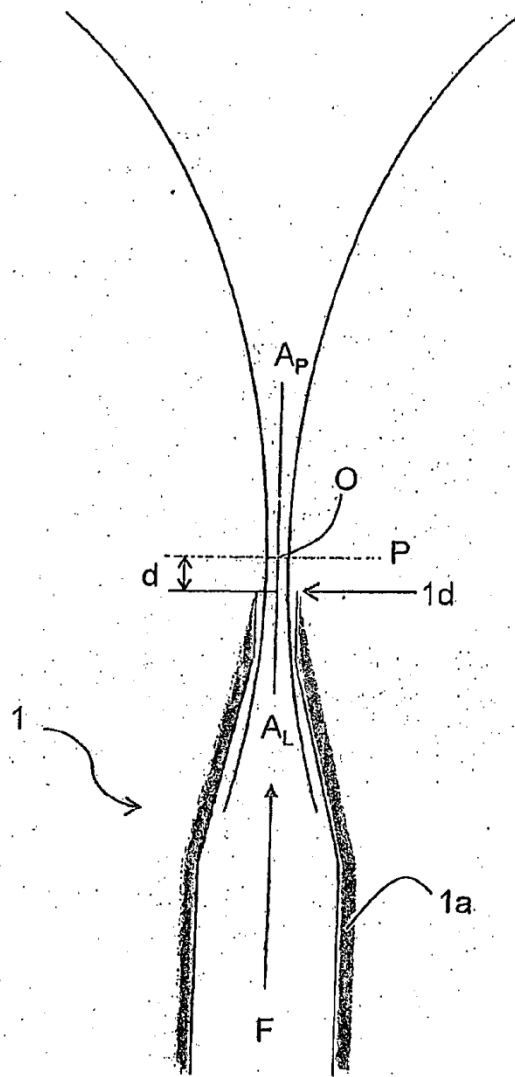


FIG. 3

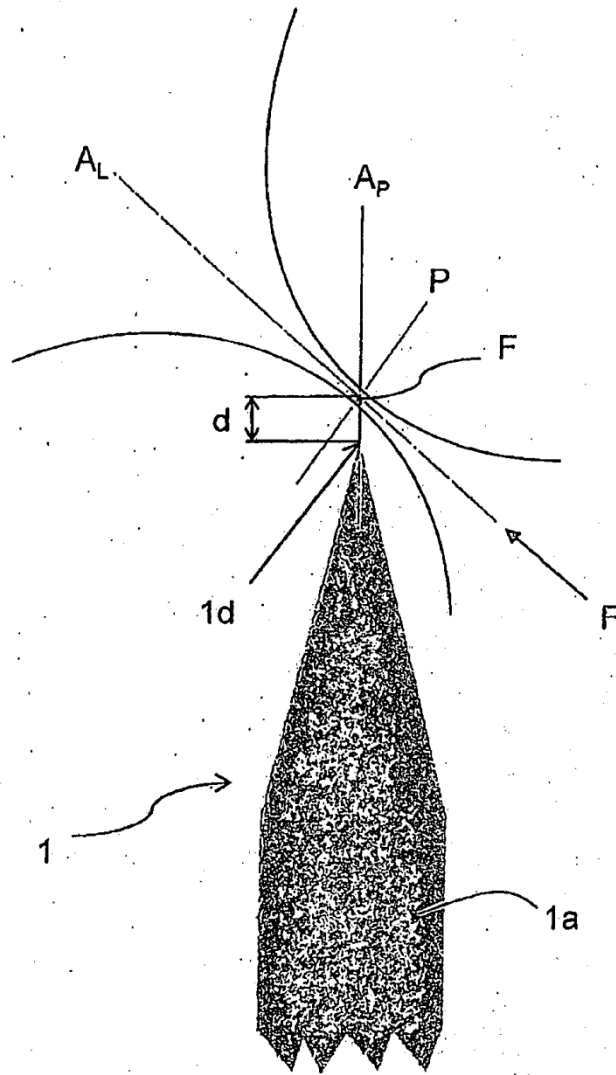


FIG. 4

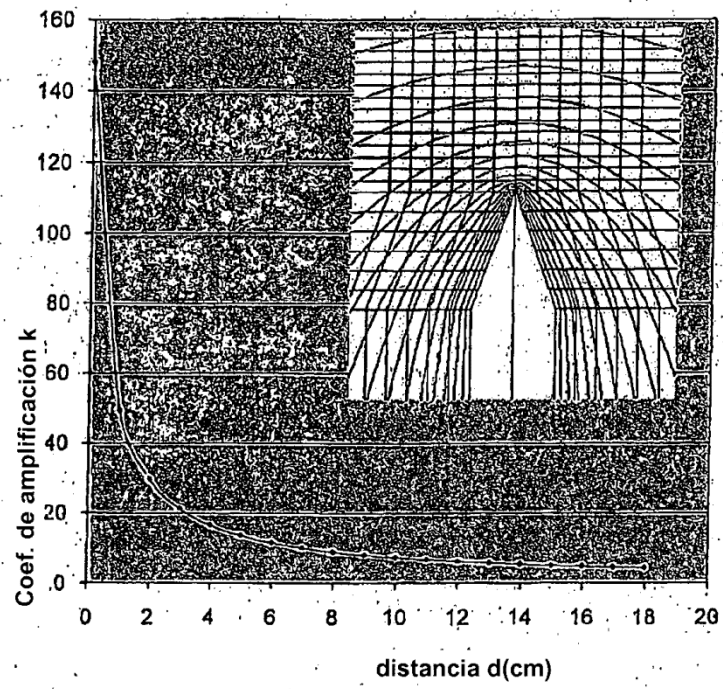


FIG.5

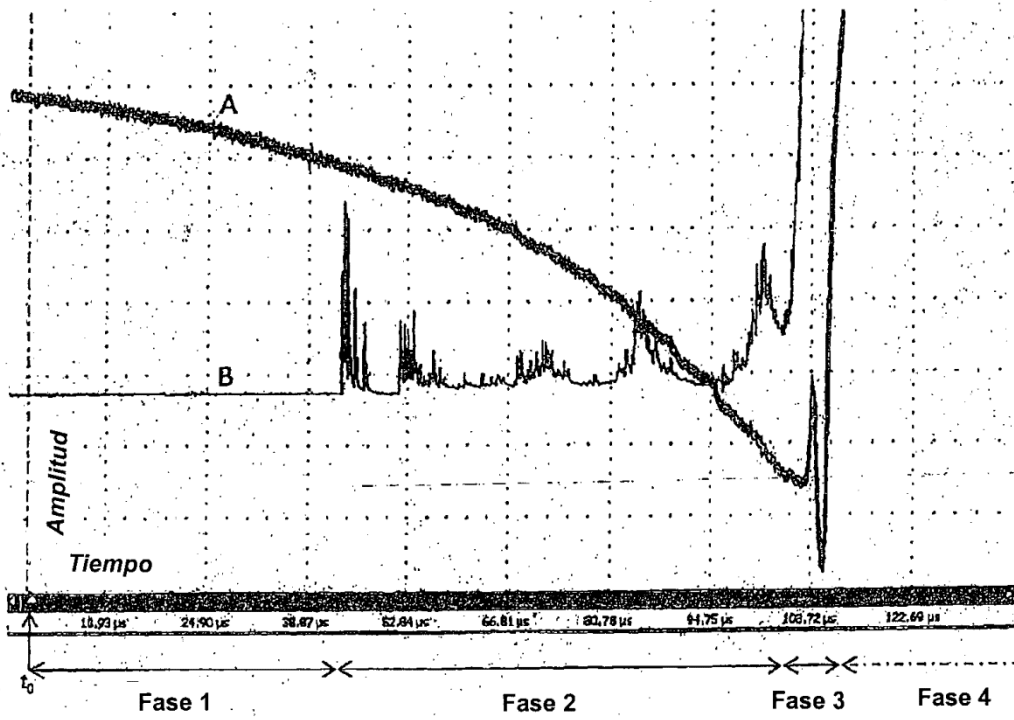


FIG.6