

Boletín 51

DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

Boletín técnico N°51
Ing. Gregor Rojas

Caracas - Venezuela

DESCARGAS ATMOSFERICAS

Por:

Ing. Gregor Rojas
GERENTE NACIONAL
MERCADEO Y VENTAS
División materiales eléctricos

1. Generalidades.

Se estima que en el planeta simultáneamente se produzcan cerca de 2000 tormentas y unos 100 rayos caigan sobre la tierra cada segundo, esto representa unas 4000 tormentas diarias con unas 9 millones de descargas atmosféricas por día.

Las descargas atmosféricas son impredecibles, en sólo millonésimas de segundo los rayos pueden descargar intensidades de 200 kA en ocasiones 500 kA. La energía media disipada por unidad de longitud del canal de descarga formado por un simple rayo es de 105 J/m, equivalente a unos 100 kg. de dinamita. Llega a alcanzar longitudes de unos 3 km., una potencia de 20 billones de vatios y una temperatura de 30.000 °C.

De todo ello se deduce que la energía de la descarga es relativamente pequeña por el corto período de tiempo que entra en juego. Sin embargo, la potencia es grande dado que los valores de tensión e intensidad son muy elevados y el del tiempo, muy pequeño.

Los mecanismos del rayo son muy complejos, pero podemos decir, de manera simplificada, que se trata de una descarga eléctrica de gran energía, provocada por un reequilibrado del potencial entre nubes o entre nubes y suelo. Las corrientes del rayo alcanzan valores de 10 a 100 kA, con tiempos de aumento de unos pocos microsegundos. Las descargas atmosféricas provocan daños considerables. Centenares de edificios, líneas telefónicas y eléctricas quedan

inutilizados cada año, como consecuencia de este fenómeno. Miles de animales y decenas de personas son víctimas de rayos.

2. Formación de las descargas atmosféricas.

Los relámpagos son visibles como un destello de luz azul blanca.

Las altas temperaturas generadas calientan las moléculas de aire hasta un estado de incandescencia, de tal manera que emiten una luz blanca muy intensa. Al mismo tiempo, el gas nitrógeno, gas dominante en la atmósfera es estimulado a la luminiscencia, produciendo un blanco azulado brillante. La combinación de la luz de la luminiscencia y la incandescencia da a las descargas atmosféricas su color característico.

Las condiciones necesarias para que se produzca una descarga atmosférica, son la formación y separación de las cargas eléctricas positivas y negativas dentro de la atmósfera, lo que crea el campo eléctrico altamente intensivo necesario para soportar esta descarga de chispa natural que es el relámpago.

La formación de cargas eléctricas en la atmósfera se debe principalmente a la ionización de las moléculas de aire por los rayos cósmicos. Los rayos cósmicos son partículas de alta energía como los protones que se originan fuera del sistema solar. Al colisionar con las moléculas de aire, producen una lluvia de partículas más ligeras, algunas de las cuales están cargadas.

Dentro de una nube, el rápido movimiento ascendente y descendente de las gotas de agua y los cristales de hielo, puede separar y concentrar estas cargas. Las cargas negativas se acumulan en la parte inferior de la nube y las cargas positivas hacia la parte superior.

La presencia de masas de aire inestable, húmedas y calientes, desemboca en la formación de nubes de tormenta: los cumulonimbos. Este tipo de

nubes, toma una forma muy extensa tanto horizontal (aproximadamente 10 km de diámetro) como verticalmente (hasta 15 km).

Su forma, muy característica, es a menudo comparada al perfil de un yunque, del cual se desprenden los planos inferiores y superiores horizontales.

La existencia en un cumulonimbo de altos gradientes de temperatura (la temperatura puede bajar hasta -65°C en la parte superior), provoca corrientes de aire ascendentes muy rápidas, lo que genera una electrización de las partículas de agua (gran generación de cargas estáticas por fricción).

En una nube de tormenta típica, la parte superior, constituida por cristales de hielo, está cargada generalmente positiva, mientras que la parte inferior, constituida por gotitas de agua está cargada negativamente. En consecuencia, la parte inferior de la nube provoca el desarrollo de cargas de signos opuestos (por lo tanto positivas en la parte del suelo que se encuentra en la proximidad).

El cumulonimbo implica por lo tanto la generación de un gigantesco condensador plano, nube-suelo, cuya distancia alcanza a menudo 1 ó 2 km. En condiciones de tiempo normales el campo eléctrico, desarrollado es del orden de un centenar de voltios por metro.

Durante la formación de nubes de tipo cumulonimbo, el campo eléctrico desarrollado puede alcanzar hasta 15 a 20 kV/m en valor absoluto, siendo éstas las condiciones ideales para generar una descarga atmosférica en el suelo (rayo).

Antes y durante la aparición del rayo, se pueden observar descargas intranube (en el seno de la propia nube) o internube (entre dos nubes distintas).

Ing. Gregor Rojas

3. Tipos de descargas atmosféricas.

Las descargas atmosféricas en función de la dirección de su trazo, pueden ocurrir de una nube a otra, dispararse de una nube a tierra o viceversa. Existen básicamente cuatro tipos de descargas atmosféricas:

- Descargas nube a nube
- Descargas tierra a nube
- Descargas nube a tierra

De todas ellas, la más perjudicial es la nube tierra, debido a que puede producir daños a estructuras, animales y personas.

3.1 Descargas atmosférica nube a nube

Es un tipo de descarga atmosférica que puede producirse entre zonas de nubes que no están en contacto con el suelo. Estas descargas pueden ser:

- Descarga atmosférica inter-nube
- Descarga atmosférica intra-nube

En la figura 1 podemos observar este tipo de descarga atmosférica.



Figura 1
Descarga atmosférica nube a nube

3.1.1 Descargas atmosférica inter-nube

Es aquel que ocurre entre dos nubes separadas.

3.1.2 Descargas atmosférica intra-nube

Es aquella que se produce en una sola nube, entre zonas de diferente potencial eléctrico. Este tipo de descarga es la que ocurre con mayor frecuencia.

3.2 Descarga atmosférica tierra a nube

Este tipo de descarga atmosférica es mucho más excepcional que las de nube a tierra, siendo un trazo inicial ascendente producido desde la tierra hacia una nube cumulonimbus.

Los iones cargados negativamente se encuentran con los cargados positivamente en este tipo de nube que hemos comentado, de esta manera, la descarga atmosférica retorna a tierra como trazo.

Este tipo de descarga atmosférica suelen generarse en las torres altas y los rascacielos. En la figura 2 podemos apreciar este fenómeno.



Figura 2

Descarga atmosférica tierra a nube

3.3 Descargas nube a tierra

La descarga atmosférica nube a tierra se origina cuando la carga eléctrica se desplaza entre la base de una nube cargada negativamente y el suelo con carga positiva.

Cada descarga dura una fracción de segundo. A veces se necesitan varias descargas para equilibrar la carga eléctrica, mostrando el rayo un leve parpadeo.

También puede producirse una variante de este rayo, la descarga positiva, cuando las cargas positivas de la parte alta de la nube reacciona con las negativas del suelo, enviando así un gran rayo de la parte superior de la nube al suelo.

Las descargas atmosféricas de nube a tierra son las que se originan desde una nube hacia el suelo. En la figura 3 podemos observar este tipo de descarga atmosférica.



Figura 3

Descarga atmosférica nube a tierra

Este tipo de fenómeno puede observarse en todo el mundo, a excepción de la Antártida, es muy común sobre todo en los trópicos.

Es el tipo de descarga de la cual debemos protegernos por el peligro que representan al impactar contra los seres o estructuras que se encuentran sobre la tierra. Los tipos de rayos de nube a tierra incluyen:

- ❑ Descarga atmosférica staccato
- ❑ Descarga atmosférica bifurcado

- ❑ Descarga atmosférica perla

3.3.1 Descarga atmosférica staccato

Es una descarga atmosférica de corta duración, que surge como un solo destello muy brillante y generalmente posee considerables ramificaciones.

3.3. Descarga atmosférica bifurcada

Es una descarga atmosférica producida de nube a tierra, presentando ramificaciones en su trayectoria. Es muy similar a la anterior, no obstante, es de mayor duración.

3.3. Descarga atmosférica perla

Es una descarga atmosférica que parece romperse en una cadena de secciones cortas y brillantes y su duración es mayor que una descarga habitual, son relativamente raros.

4. Efectos de las descargas atmosféricas.

Los efectos del rayo se dividen normalmente en:

- ❑ Directos
- ❑ Indirectos.

4.1 Efectos directos

La caída de una descarga atmosférica de manera directa provoca en el punto de impacto:

- ❑ Efectos térmicos directos (fusión, incendio) originados por el arco eléctrico.
- ❑ Efectos térmicos y electrodinámicos inducidos por la circulación de la corriente de la descarga atmosférica.
- ❑ Efectos de incendio (onda de choque y soplido de aire), producidos por el calor y la dilatación del aire.
- ❑ La potencia de una descarga atmosférica es tan fuerte que al impactar puede ocasionar daños severos en la estructura de edificios. El efecto termodinámico del

impacto puede deformar la estructura debido a las fuerzas que se generan por el campo imantado que se forma al caer la descarga atmosférica. En ocasiones incluso derribarlas por completo debido a su potencia.

- ❑ Afecta también a nivel térmico, cuando el impacto genera chispas y disipación de calor provocando incendios dentro de la instalación. En general, toda estructura física corre peligro durante el impacto de una descarga atmosférica.

En la figura 4 se observa una insólita imagen real de un árbol al que el fuego devora desde dentro tras haber sido alcanzado por una descarga atmosférica.



Figura 4
Efecto directo de una descarga atmosférica

En la figura 4 se aprecia como las intensas llamas consumen el tronco, partido en dos por la poderosa descarga eléctrica.

La protección contra los efectos directos del rayo se basan en la captación y la conducción de la corriente hacia tierra a través de los pararrayos.

4.2 Efectos indirectos

Aunque el impacto de rayo no sea directo como el punto anterior, se pueden observar varios efectos durante tormentas eléctricas que es necesario conocer para proteger las instalaciones, equipos, la infraestructura y cualquier componente de la instalación que pueda estar en riesgo.

La caída de una descarga atmosférica provoca en el punto de impacto que sus efectos perturben de manera indirecta:

- ❑ Una descarga atmosférica directamente en el suelo ocasiona una subida del potencial de la tierra que puede propagarse por toda la instalación.
- ❑ La tormenta puede generar una carga estática en cualquier parte de la estructura dentro de la tormenta. Esto genera una diferencia de potencial en la estructura o conductor respecto a tierra que puede ocasionar interferencias, esto se debe por consecuencia de la carga electrostática que producen los arcos secundarios.
- ❑ A la descarga atmosférica también se asocia un campo electromagnético de amplio espectro y de frecuencia que al acoplarse con los elementos conductores (estructuras de edificio, instalaciones eléctricas), genera corrientes inducidas destructivas.
- ❑ Los pulsos electromagnéticos se originan por los campos electromagnéticos transitorios que se forman por el flujo de corriente eléctrica, a través del canal de descarga de la descarga atmosférica, las cuales crecen velozmente y adquieren corrientes pico de cientos de miles de amperios.
- ❑ La descarga atmosférica sobre las líneas de transmisión o distribución aéreas dan

origen a la propagación de sobrevoltajes en las redes AT y BT en miles de voltios.

- ❑ La variación del campo electrostático que acompaña a una tormenta eléctrica son generados por los transitorios atmosféricos o pulsos electrostáticos. Un conductor suspendido sobre la superficie de la tierra, está inmerso dentro de un campo electrostático y será cargado con un potencial en relación a su altura, sobre la superficie de la tierra.
- ❑ Las corrientes transitorias de tierra son generadas por el proceso de neutralización después del impacto de una descarga atmosférica. Un conductor enterrado o cercano a esa carga, favorece un traslado más conductivo desde donde inicia, al punto donde termina la descarga atmosférica. Esto origina un voltaje que se conoce como corriente transitoria de tierra y aparece en conductores, cables, tuberías y otras formas de conductores.
- ❑ El sobrevoltaje transitorio se genera como consecuencia de los anteriores y puede causar graves daños a los equipos o sistemas si no se encuentran salvaguardados. La carga electrostática es el evento más común de todos, inducen altos voltajes transitorios en cualquiera de los conductores eléctricos que estén dentro del área de influencia. Estos transitorios pueden causar arcos entre conductores o cables y entre tuberías y tierra.

Por lo que una protección integral no solo es necesaria para poder prevenir daños y disminuir el riesgo de un evento de mayor gravedad, sino también para asegurar que la inversión en equipos e infraestructura se mantenga en óptimas condiciones por mucho más tiempo. En la figura 5 se observa una insólita imagen real de un árbol al

que el fuego devora desde dentro tras haber sido alcanzado por una descarga atmosférica.



Figura 5

Efecto indirecto de una descarga atmosférica

La protección contra los efectos indirectos se basa esencialmente en la utilización de pararrayos, en la equipotencialidad de las masas y la dimensión de la malla de los edificios.

5. Protección contra descargas atmosféricas.

Los sistemas de protección contra descargas atmosféricas son diseñados para proteger las estructuras, edificios, instalaciones y equipos que en se hallan en sus interiores contra los efectos de una descarga atmosférica, estos efectos pueden ser la destrucción o el deterioro de los mismos, de igual manera, preservar la integridad física de las personas que en ellos se encuentren en ellos.

Un verdadero sistema de protección contra descargas atmosféricas está conformado por una protección externa contra los impactos directos de las descargas atmosféricas y de protección interna contra los sobrevoltajes que se generan de las descargas.

5.1 Funciones de la protección externa.

Las funciones que debe cumplir una protección externa son las siguientes:

- ❑ Captar las descargas directas de la descarga atmosférica a través de elementos captadores.
- ❑ Derivar de manera segura la corriente de la descarga atmosférica hasta a tierra a través de la correspondiente parte de la instalación para este fin que se denomina bajantes.
- ❑ Disipar la corriente de la descarga atmosférica en el terreno a través una instalación de toma de tierra.

5.2 Funciones de la protección interna.

Las funciones que debe cumplir una protección interna son las siguientes:

- ❑ Por una parte asegurar la equipotencialidad contra la descarga atmosférica de la instalación eléctrica y de comunicaciones
- ❑ Evitar que corrientes de las descargas atmosféricas y/o sobrevoltajes accedan a los equipos a través de las líneas de alimentación y/o de transmisión de datos y los dañen o incluso destruyan.

5.3 Equipotencialidad contra la descarga atmosférica

La equipotencialidad contra las descargas atmosféricas es el principio fundamental que debe considerarse en todo sistema de protección externa.

Cualquier elemento metálico de la instalación debe estar conectado a la misma tierra bien sea de manera directa o mediante descargadores de corrientes para descargas atmosféricas o de sobrevoltajes.

6. Componentes de un sistema de protección contra descargas atmosféricas

Los componentes de un sistema de protección contra descargas atmosféricas de acuerdo con las normas internacionales IEC 62305 son:

- Instalación captadora
- Instalación derivadora
- Instalación de puesta a tierra
- Distancias de separación
- Compensación de potencial de protección contra el rayo

7. Los niveles de protección

Existen diferentes niveles de protección contra las descargas atmosféricas siendo el nivel I el más exigente y el nivel IV el menos exigente.

La aplicación de uno u otro se decidirá en función del correspondiente análisis de riesgo de la instalación a proteger. Cada nivel determinará, por ej., el radio de la esfera rodante, el reticulado de la malla captadora, materiales, secciones, etc.

Para asegurar una disponibilidad de servicio de los complejos sistemas de transmisión de datos, también en caso de descargas, es necesario adoptar medidas complementarias de protección.

7.1. Cálculo del nivel de protección

Para la determinación de la eficiencia requerida por el sistema de protección contra descargas atmosféricas SPCR se deberá conocer los valores de frecuencia de impacto directo (Nd) y la frecuencia aceptada de rayos (Nc)

$$Nd = C \times Ng \times Ae \times 10^{-6}$$

Donde:

C = Coeficiente ambiental que rodea la estructura considerada

Ng = Densidad anual promedio de descargas atmosféricas directas a tierra por Km² en zona de la edificación

Ae = Área equivalente colectora

Nc = esta magnitud será definida por las autoridades pertinentes en caso de haber riesgo de vidas humanas, culturales y sociales. Mientras que el propietario o diseñador podrá establecer dicho valor cuando las pérdidas solo estén relacionadas con los bienes o la propiedad privada.

$$E = 1 - Nd / Nc$$

8. Protección contra los efectos directos.

8.1 Procedimiento para protección externa

A continuación veremos un procedimiento típico para realizar la protección externa:

- Establecer el nivel de protección.
- Elegir el tipo de pararrayos a manejar en función del área a cubrir.
- Calcular el radio del pararrayos.
- Ubicar el pararrayos con su radio en un plano de planta teniendo en cuenta la altura de cada edificio.
- El pararrayos debe ser el punto más alto estando al menos a dos metros por encima de cualquier objeto en su entorno.
- Elegir tipo de bajante.
- El recorrido del bajante debe ser lo más corto posible.
- Establecer cuáles son los elementos metálicos a equipotencializar que se

encuentren cercanos al pararrayos o a la bajante e incorporarlos al sistema

- ❑ Diseñar la puesta a tierra, de ser posible en un lugar poco transitado la existente para reducir el voltaje de paso.

8.2 El modelo electro-geométrico

Después de la evaluación del riesgo de un descarga atmosférica y sus consecuencias en términos económicos, la elección de los dispositivos de captura de la misma (pararrayos) va a requerir un estudio de implantación consustancial a cada lugar. En esta perspectiva, el objetivo será justificar que la descarga atmosférica tenderá preferentemente a impactar sobre puntos exactos y predeterminados y no sobre otras partes de los edificios u obras.

Para lograr esto se recurre al método basado en cálculos, que se denomina electrogeométrico que define la zona esférica teóricamente protegida por un pararrayos en función de la intensidad de la corriente de descarga del 1er arco. Cuanto más elevada es esta corriente, se hace más factible la captura y más amplia la zona protegida.

8.3 Pararrayos de tipo punta

Estos pararrayos tienen el objetivo de proteger las estructuras contra los impactos de descargas atmosféricas directas.

Al capturar la descarga atmosférica y conducir hacia tierra la corriente de descarga de ésta, se evitan daños vinculados al impacto mismo de la descarga atmosférica y a la circulación de la corriente asociada.

Las puntas captadoras o puntas franklin son indicadas para la protección externa contra las descargas atmosféricas. Pueden utilizarse como único elemento captador o bien formar parte de sistemas de protección pasivos, complementando la protección en mallas conductoras de tipo jaula de faraday.

Los sistemas anteriormente descritos son sólo algunos de los métodos de protección existentes. Sin embargo, hoy se manifiestan crecientemente las consecuencias de los efectos indirectos, causados por sobretensiones con origen en las descargas atmosféricas y de ello mencionamos lo siguiente:

9. Protección contra los efectos indirectos

Los efectos indirectos son las consecuencias de un impacto de descarga atmosférica que puede haber tenido lugar sobre la propia obra y también a la distancia o en las líneas a las cuales se conecta.

Se considera que la corriente de una descarga atmosférica y sus efectos pueden alcanzar la instalación por tres sitios de acceso:

- ❑ Por las líneas eléctricas de televisión, energía, telecomunicaciones, entrando o saliendo del edificio.
- ❑ A través del suelo a raíz de su subida de potencial, mediante las masas la red de tierra y los conductores de protección.
- ❑ Por medio de todos los cierres conductores (estructuras del edificio), redes interna (energía, telecomunicación), que pueden ser la sede de tensiones inducidas bajo el efecto del campo magnético generado por la corriente de la descarga atmosférica.

9.1 Procedimiento para protección interna

Se deben intervenir todos los ingresos y egresos de la estructura o edificio. Es recomendable analizar si han habido problemas de quemaduras de equipos, por donde está ingresando el sobrevoltaje, para ello seguiremos las siguientes pautas:

- ❑ Establecer zonas.

- ❑ A la entrada a cada zona se le coloca un protector (escalón).
- ❑ La separación entre cada escalón debe ser de diez metros de cable para garantizar la coordinación de los protectores sino se deberá instalar impedancias de desacople
- ❑ Verificar la equipotencialización de las diferentes tierras y que las trayectorias a tierra sean las más cortas posible.
- ❑ En ambientes explosivos se debe verificar la equipotencialización de todas las masas metálicas para evitar chispas peligrosas.
- ❑ El tipo de protector a utilizar se dimensiona en función de la presunta corriente de impulso y del voltaje residual deseado teniendo en cuenta el voltaje de aislamiento que soporta el equipo protegido.

9.2 Principios generales

El principio de la protección contra los efectos indirectos de descargas atmosféricas consiste en impedir que la energía perturbadora, o incluso destructiva, pueda alcanzar los aparatos y equipos.

Para ello, tres condiciones son necesarias.

- ❑ Limitar la subida de potencial de la instalación, derivando la corriente hacia el potencial de referencia baja (red de masa y tierra). Es el papel de los pararrayos.
- ❑ Evitar la aparición de sobretensiones peligrosas entre los mismos aparatos, entre los circuitos de protección y las distintas masas metálicas. Es el papel de la red de masas equipotencial.

- ❑ Minimizar los efectos de inducción debidos a los campos generados por el propio impacto de la descarga atmosférica.

- ❑ Principio de la protección pararrayos

El limitador de sobrevoltaje entonces va a comportarse como un verdadero cortocircuito, para la mayor parte de la energía sobre la red de masa equipotencial.

La toma a tierra va a llevar de inmediato el potencial a 0 V, debido a su impedancia. Para tener eficacia, el limitador de sobrevoltaje debe ser conectado con los conductores más cortos posible

En efecto, la corriente de descarga, de alta frecuencia, es rápidamente reducida por la impedancia de los conductores insertos en el circuito del pararrayos.

En la práctica, se recomienda que la longitud total del circuito limitador de sobrevoltaje no exceda 0,5 m. Una exigencia no siempre fácil de cumplir, pero que el uso de las masas disponibles en proximidad ayudan a satisfacer.

10. Contabilización de descargas atmosféricas

Una forma de contabilizar las descargas atmosféricas es a través del contador de descargas atmosféricas que tiene como función contabilizar y registrar el número de impactos que ha recibido y soportado el pararrayos instalado, esto es de gran apoyo para tener un adecuado mantenimiento al sistema.

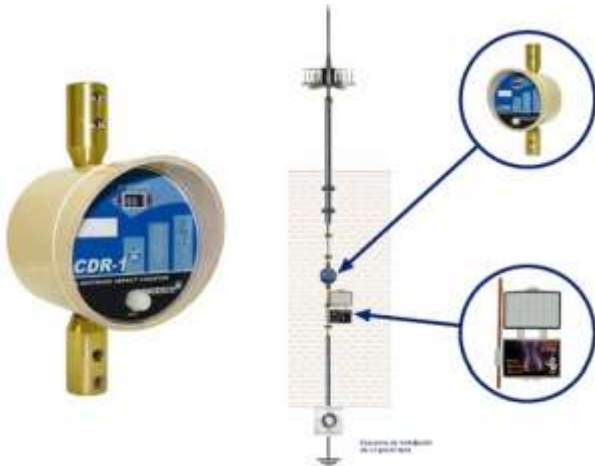


Figura 6

Contador de descarga atmosférica

En la figura 6 se puede apreciar un contador de descarga atmosférica al lado izquierdo y al lado derecho como va inserto en el sistema de protección.

Existen dos formas de representar la actividad de las descargas atmosféricas en el mundo y que tienen utilidad tanto en lo que respecta a estimación de variables meteorológicas, como en actividades de protección.

- ❑ Nivel Cerámico (TD)
- ❑ Densidad de descargas atmosféricas a Tierra (N_g)

El primero de ellos es el más antiguo, aunque muchos países en el mundo mantienen sus mapas en función de días de tormenta al año o nivel cerámico, así pueden presentarse regiones con 1 o menos días de tormenta al año de baja actividad cerámico, hasta 200 a 300 días de tormenta al año, en zonas críticas, especialmente en el trópico como Centro - Sur de América y África.

El problema de tener como información solo los días en los que ocurren descargas, es que no se puede especificar directamente cuántos de los

eventos correspondientes son del tipo nube a tierra, que es precisamente el dato importante.

Sin embargo, se han obtenido en función de medidas y estadísticas, ciertas formulaciones que permiten establecer una relación entre el nivel cerámico y la densidad de descargas atmosféricas a tierra (rayos/ Km^2 -año). Y la más aceptada a nivel de normativas y trabajos internacionales, es la siguiente:

$$N_g = 0.04 \text{ TD}1.25 \text{ rayos}/\text{Km}^2\text{-año}$$

Donde:

TD es el nivel cerámico en días de tormenta al año.

Así por ejemplo, una región con un TD de 20 días de tormenta al año, tendría una densidad de descargas atmosféricas a tierra de 1.7 rayos-tierra/ Km^2 -año.