



Jean-L. Rault F6AGR

Dispersión de rayos: un modo de propagación débil y raro

Reflexiones sobre capas de la ionosfera, reflejos sobre estelas de meteoritos ionizados, ecos en aviones, EME, reflejos sobre nubes ionizadas aurorales... Los radioaficionados han explorado y utilizado durante mucho tiempo varios modos de propagación por radio.

¿Podrían los rayos también ser capaces de dispersar ondas de radio?

Este artículo trata sucesivamente de un enfoque teórico y práctico de la dispersión del rayo.

1.0

Punto de vista teórico

1.1 ¿Un relámpago puede reflejar ondas de radio?

Cualquier medio ionizado puede reflejar una onda de radio. Un rayo es una descarga eléctrica violenta que calienta e ioniza el aire ambiente. Las temperaturas pueden alcanzar los 20 o 30.000 ° K y la densidad de electrones puede elevarse hasta 10^{17} a 10^{18} electrones por cm^3

[2]. Sabiendo que la densidad de electrones necesaria para obtener una reflexión completa de las ondas de radio es la siguiente [4]:

$$f_{\text{norte}} = \frac{\pi \cdot \text{metro} \cdot F_2}{mi_2} \quad (1)$$

metro y *mi* siendo respectivamente la masa y la carga eléctrica de un electrón y *F* siendo la frecuencia de la onda reflejada, se puede ver que un relámpago es teóricamente capaz de reflejar todo el espectro de radio.

Reemplazo *metro* y *mi* por sus valores numéricos y usando electrones por cm^3 para *norte*, la frecuencia reflejada más alta es:

$$F_{N} = \sqrt{\frac{\text{norte}_{mi}}{1,24 \cdot 10^4}} \quad (2)$$

con *F* dado en MHz y *norte* en electrones por cm^3 .

Entonces uno puede ver que 3×10^9 electrones por cm^3 es una densidad lo suficientemente alta como para permitir un reflejo de ondas de radio VHF o UHF.

Un canal ionizado de relámpago puede tener varios kilómetros de longitud [6], con un diámetro de unos pocos centímetros. El 80% de los destellos son del tipo nube-nube (CC, ver figura 1), el 20% son del tipo nube-tierra (CG, ver figura 2).

El gradiente de temperatura extremadamente alto que afecta la capa de aire cerca de la descarga eléctrica podría posiblemente participar en

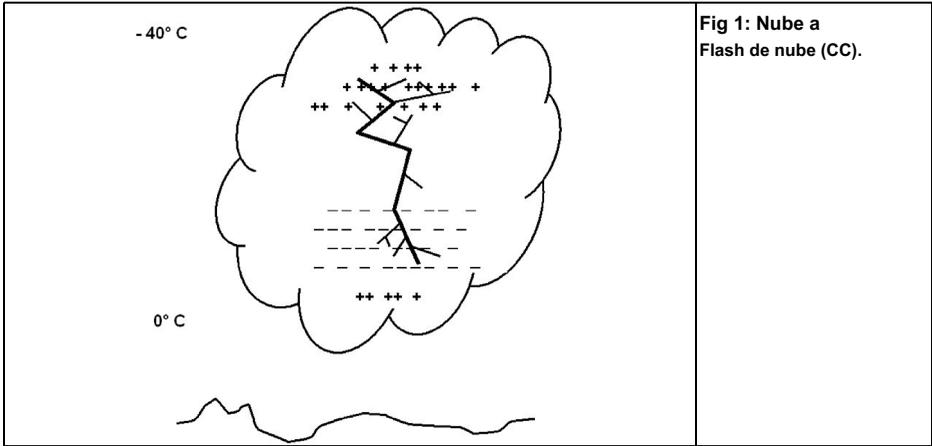


Fig 1: Nube a Flash de nube (CC).

la reflexión de las ondas de radio.

miles de amperios).

1.2 ¿Cuál podría ser la duración efectiva de la reflexión de un relámpago?

Un rayo completo incluye varios golpes de retorno y puede durar varios cientos de milisegundos [2], [3].

Un relámpago CC o CG se compone de varias fases.

1.3 ¿Cuál es la probabilidad de ocurrencia de relámpagos?

Al principio, los precursores de baja intensidad (donde la corriente eléctrica alcanza algunos cientos de amperios) aparecen en una parte muy cargada de una nube. Cuando un canal conductor se conecta entre dos partes de una nube con polaridades opuestas, o entre una nube y el suelo, aparece un golpe de retorno que transporta una gran cantidad de electricidad (varios diez

La mayoría de las 3000 tormentas eléctricas que aparecen cada día en todo el mundo ocurren en el área ecuatorial.

En Europa, la incidencia es de unas decenas de días de actividad eléctrica al año [1]. Consulte la figura 3 para ver un mapa de Francia que muestra un ejemplo de las estadísticas anuales. Sabiendo que una sola tormenta

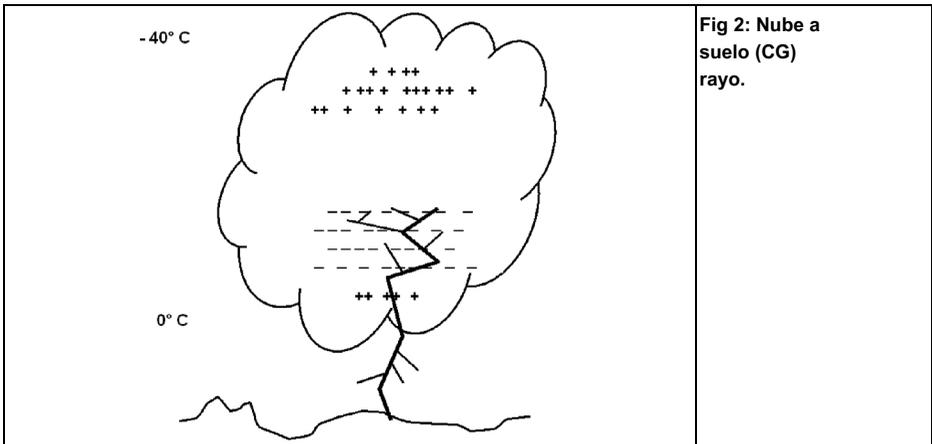


Fig 2: Nube a suelo (CG) rayo.

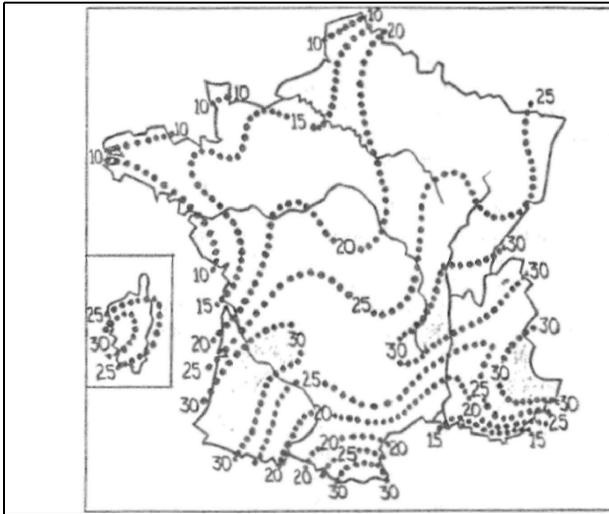


Fig 3: Anual estadísticas sobre tormentas eléctricas en Francia.

genera cientos o miles de luz **2.0**

destellos, se puede ver que la probabilidad de obtener algunos ecos no es despreciable **Experimento practico**
ble.

1.4 ¿Cuál es la distancia máxima que se puede esperar para los ecos de rayos?

El alcance máximo de eco para un transmisor y un receptor ubicados ambos a nivel del suelo (si consideramos que tienen la misma altitud) depende de la altitud del espejo.

El rango es el siguiente:

$$r_{e_{max}} = 2 \cdot R \cdot \arccos \frac{R}{R + h}$$

R siendo el radio de la Tierra y h la altura de la parte reflectante del relámpago.

Por ejemplo, una altura de 5000 m da un alcance de 500 km, asumiendo que el espejo se encuentra a mitad de camino entre el transmisor y el receptor, y un poco más si se tiene en cuenta la refracción de la atmósfera.

Se debe establecer un procedimiento de prueba confiable para asegurarse de capturar, registrar y analizar la dispersión de cualquier rayo.

Solo escuchar balizas distantes durante un día tormentoso es demasiado subjetivo y no lo suficientemente convincente como para demostrar que la dispersión de rayos realmente existe.

Se tuvieron en cuenta los siguientes puntos clave al establecer el programa de prueba:

- elección de una radiobaliza que transmita una señal estable y bien conocida
- ausencia de interferencia alrededor de la frecuencia de la baliza
- distancia entre la baliza y el receptor lo suficientemente grande para evitar cualquier recepción cuando no hay propagación troposférica ordinaria
- probabilidad de tormentas eléctricas frecuentes en la ruta baliza / receptor

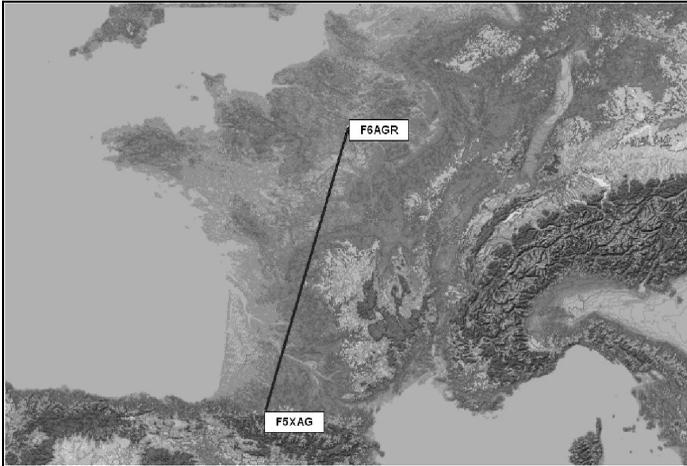


Figura 4: F5XAG a Ruta F6AGR.

- registro automático de la salida de audio del receptor para permitir un mayor análisis de lotes
- Registro automático simultáneo del ruido de radio generado por los relámpagos para permitir un mayor análisis de correlaciones.

Con todos estos prerequisites en mente, durante el verano de 2004 se realizó una campaña de grabaciones de audio sistemáticas. Se eligió la baliza de radioaficionado, F5XAG, porque cumple la mayoría de los criterios requeridos.

- monitoreo de predicción de tormentas - investigación (ver figura 4), el equipo ciones y actividad en tiempo real gracias a fue el siguiente: agencias meteorológicas Proveedores de Internet

En cada extremo del camino de 648 km bajo

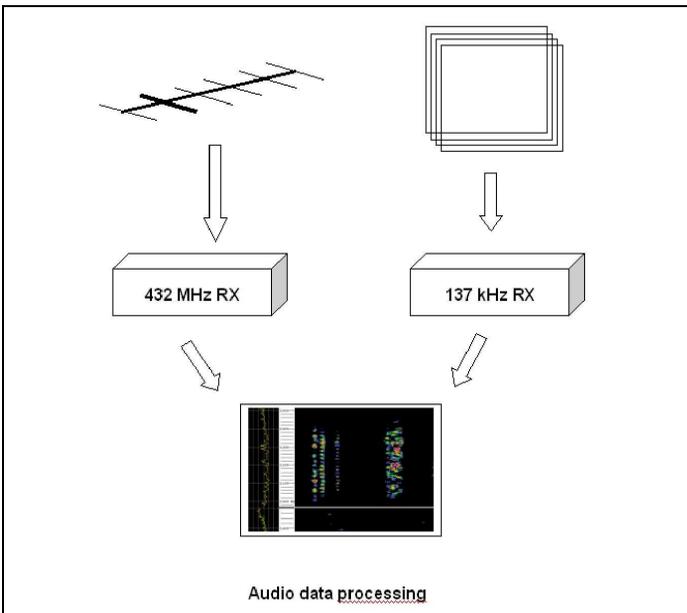


Fig 5: Esquema diagrama de experimental equipo.



Figura 6: 144MHz y Antenas 432MHz.

Faro:

Nombre: F5XAG
 Ubicación: IN93WC
 Altitud: Los 550m
 Frecuencia: 432,413 MHz
 ERP: 40W
 Haz: NNE

Receptor UHF (432MHz):

Nombre: F6AGR
 Ubicación: JN18DQ
 Hormiga. altitud 66m

Antena 2 x 10 elementos yagi
 RHCP / LHCP
 Receptor ICOM IC-821H +
 preamplificador de cabecera

Receptor LF (137 kHz):

Nombre: F6AGR
 Ubicación: JN18DQ
 Hormiga. altitud 56m
 Antena 23 vueltas 1,2 m de bucle cuadrado
 Receptor ICOM IC-738

Las configuraciones de las antenas se muestran en



Fig 7: Antena de cuadro de recepción de 137 kHz.

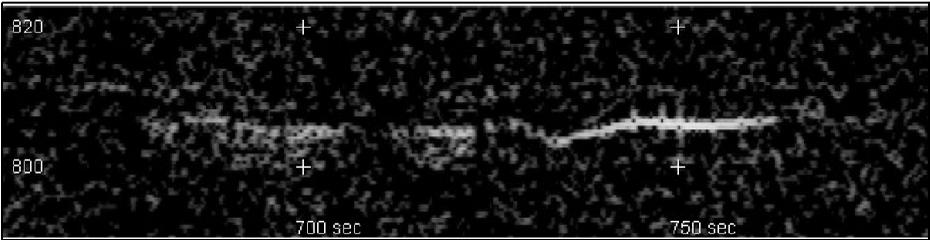


Fig 8: Ráfaga larga de señal de F5XAG.

figuras 6 y 7.

Se eligió la banda de aficionados de 137 kHz como frecuencia de monitoreo de relámpagos porque ofrece un buen compromiso en el rango de detección de tormentas eléctricas europeas. Ver flashes en VLF habría dado demasiados pulsos generados por tormentas eléctricas muy distantes. Por otro lado, la energía irradiada por un rayo en la banda VHF / UHF es bastante pequeña,

por lo que el rango de estas bandas es limitado.

2.1 Configuración del receptor / grabador

Las salidas de audio de los receptores de 432MHz y 137kHz están conectadas a una PC equipada con una tarjeta de sonido estéreo (ver figura 5). La computadora también se utiliza para analizar los registros y rastrear cualquier eco interesante.

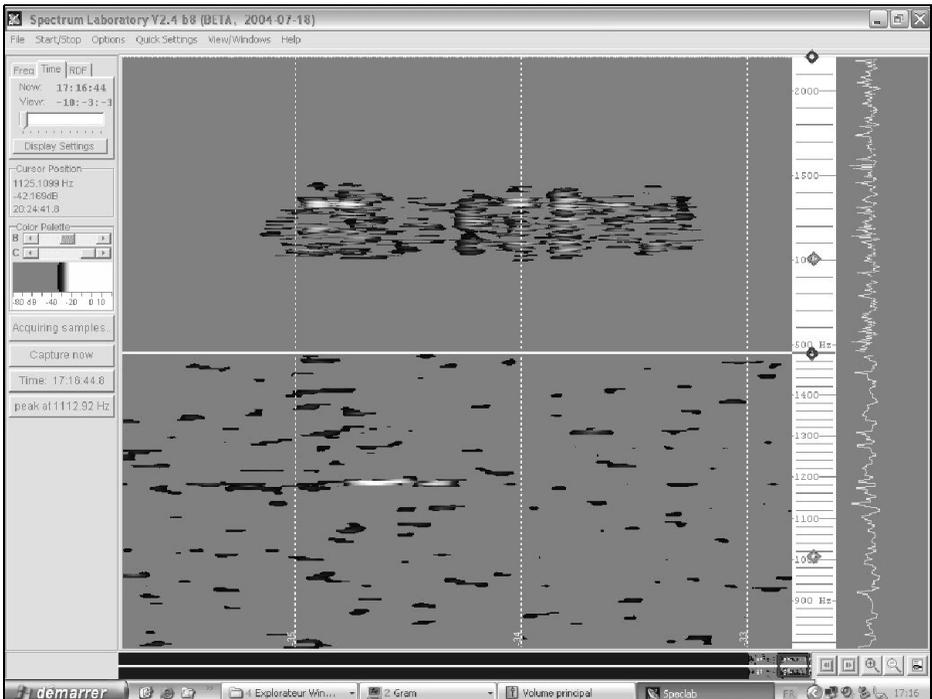


Fig 9: Dispersión de rayos F5XAG.

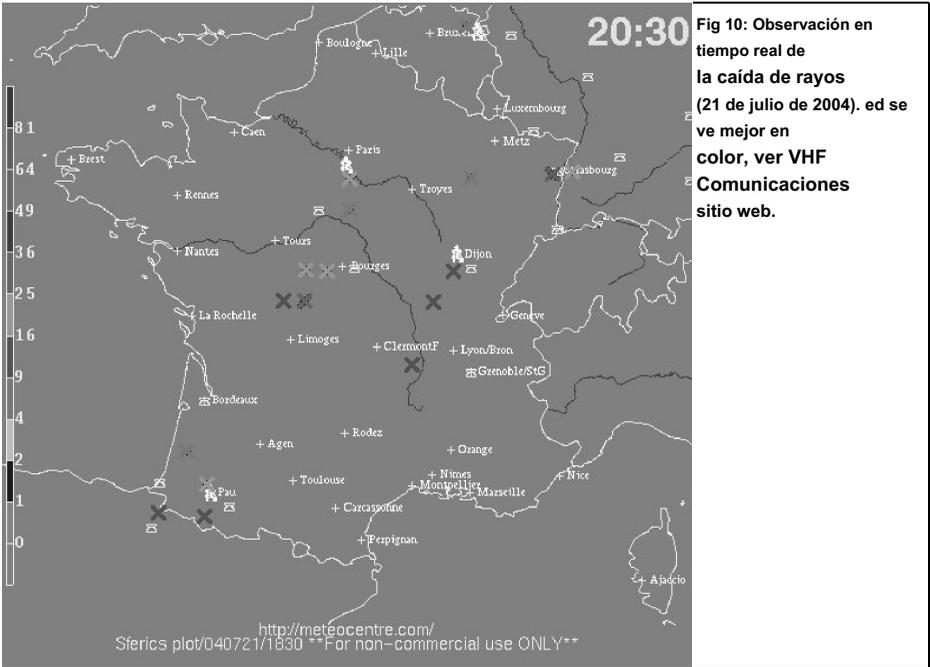


Fig 10: Observación en tiempo real de la caída de rayos (21 de julio de 2004). ed se ve mejor en color, ver VHF Comunicaciones sitio web.

El receptor de UHF está equipado con un OCXO, que es obligatorio para sintonizar el VFO a la frecuencia correcta sin recibir ninguna señal permanente (siempre que la baliza transmita en la frecuencia correcta).

Ambos canales de audio se graban en paralelo, con una resolución de 16 bits. La frecuencia de muestreo se ajusta para obtener el mejor compromiso entre la banda de paso de audio y el volumen de los datos almacenados. Por ejemplo, una hora de grabación estéreo con una banda de paso de audio de 4kHz y una resolución de 16 bits es más de 115Mb.

Las grabaciones se realizan en tiempo real en el disco duro de la computadora y luego se almacenan en DVD de datos de 4.7Gb. La compresión de datos como la realizada por algoritmos MP3 no se puede utilizar porque distorsiona demasiado la señal, por lo que solo WAV

las grabaciones ofrecen el registro necesario CoolEdit 2000 es muy valioso para la jugfidelidad. gling con registros de audio largos, ofreciendo funciones útiles como Rebobinar, For-

Para identificar cualquier eco débil y corto, una sala, controles FFT simples, tiempo y

La solución es utilizar una herramienta de análisis espectral. Aunque un algoritmo FFT no es la mejor herramienta para rastrear pulsos cortos, el software FFT es muy fácil de encontrar y descargar de Internet.

Una pantalla gráfica que muestra la frecuencia en el eje Y, el tiempo en el eje X y algunos colores para dar una indicación de amplitud es muy fácil y agradable de examinar visualmente. Una mirada rápida es mucho más eficaz para identificar un eco corto y débil que pasar mucho tiempo escuchando ruido blanco.

Se utilizaron dos herramientas de software complementarias para el experimento:

- CoolEdit 2000 de Syntrillium
- Spectrum Lab, desarrollado por Wolfgang Büscher DL4YHF

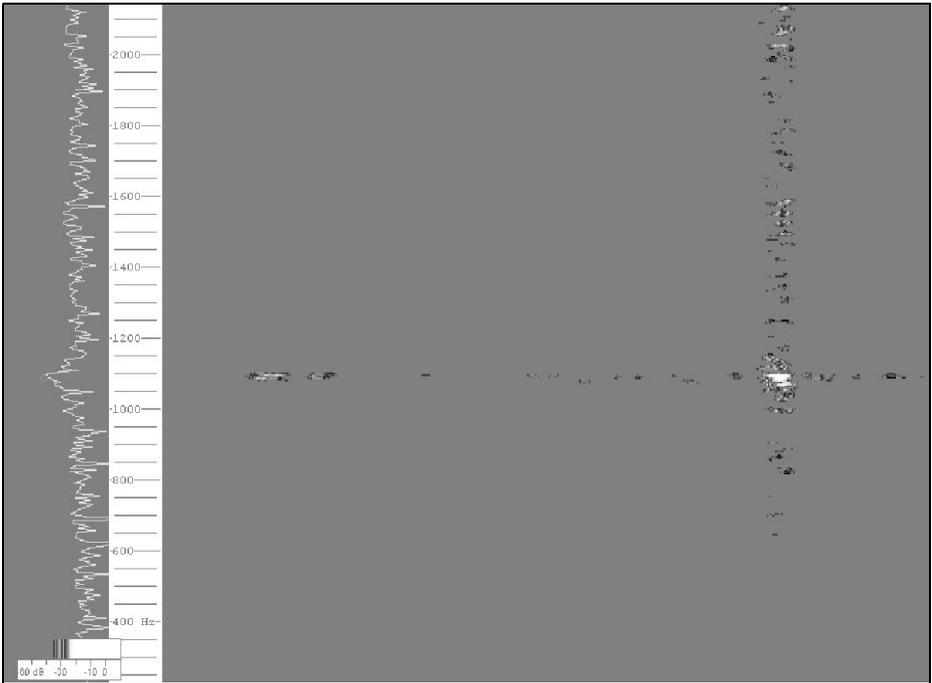


Fig 11: Dispersión de rayos F5XAR.

zooms de frecuencia, todos los cuales son muy fáciles de usar.

Spectrum Lab es un poderoso kit de herramientas de análisis espectral que permite muchos ajustes de parámetros. Sin embargo, requiere cierto conocimiento del procesamiento de señales y datos para poder controlarlo de manera fructífera.

3,0

Resultados del experimento

Se han realizado varias grabaciones de audio las 24 horas del día durante los tranquilos y tormentosos días del verano de 2004.

El primer resultado es que en esta ruta N / S,

Las ráfagas de señal provenientes de la baliza F5XAG se recibieron claramente día y noche. Cada ráfaga duraba unas decenas de segundos, separados por minutos o decenas de minutos de silencio. En la figura 8 se muestra un ejemplo de una ráfaga de este tipo. Algunas ráfagas muestran un efecto Doppler típico que indica que la señal puede reflejarse desde aviones a gran altitud, pero algunas otras presentan alguna división de frecuencia y desviaciones que no son fácilmente explicables.

Varias ocurrencias de dispersión de rayos en 432MHz fueron claramente identificadas en los registros del verano de 2004. La figura 9 muestra un ejemplo de dicho eco recibido el 21 de julio, s1 alrededor de las 20:30 hora local.

La traza inferior (canal de 432 MHz) muestra un eco de baliza alrededor de 1200 Hz que dura unos 500 milisegundos. La relación señal / ruido es de aproximadamente 10 dB. Ningún ruido generado por el rayo

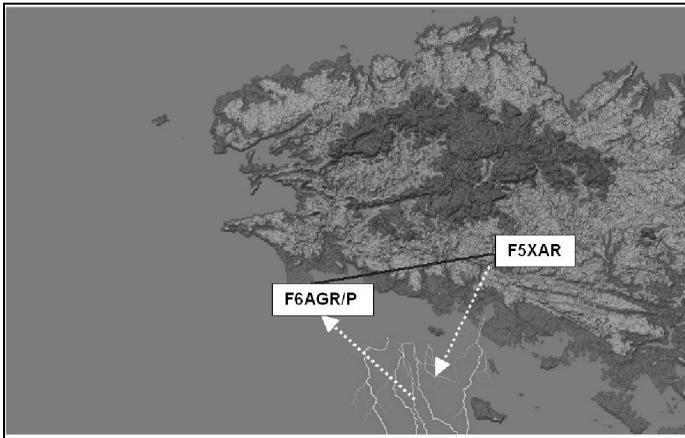


Fig 12: Ruta de F5XAR a F6AGR / P.

Flash en sí fue detectado. La traza superior muestra la actividad correspondiente de 137 kHz, que consiste en picos de banda ancha generados por cada descarga eléctrica. La Fig. 10 muestra el estado en tiempo real de los impactos del rayo a las 20:30.

Durante el verano de 2004, una tormenta de mar en Bretaña permitió otra caza de dispersión de rayos en 144 MHz. El camino terrestre tenía 82 km de largo (ver figura 12). Las condiciones fueron las siguientes:

La figura 11 muestra un ejemplo de los ecos claramente identificados. La línea horizontal indica que la baliza se recibió la mayor parte del tiempo y la línea vertical muestra el ruido de banda ancha recibido del propio flash. En el ejemplo, el eco estaba compuesto por dos ráfagas sucesivas, con una duración total de menos de 300 mS. La relación eco / portadora permanente fue mejor que 20dB.

Además de los alentadores resultados obtenidos en 144 y 432MHz, los registros antiguos realizados anteriormente en 2002 en 21MHz para un estudio de dispersión de meteoros se volvieron a analizar cuidadosamente a fin de rastrear cualquier posible dispersión de rayos en esa banda. La estación utilizada como transmisor fue una potente estación de transmisión francesa de ondas cortas (Radio-France International) que es muy útil para rastrear la dispersión de meteoros

actividad. La ruta de 21MHz tenía 250 km de largo.

Los resultados fueron asombrosos y se identificaron ecos de rayos a una velocidad de aproximadamente 6 por minuto (ver figura 13). La portadora refractada se recibió de forma permanente y el nivel de eco fue de 6 a 10 dB sobre la portadora permanente. La duración de cada eco fue de unos cientos de milisegundos.

4.0

Conclusión

Este experimento de dispersión de rayos muestra que la dispersión de radio de los rayos realmente existe.

Pero quedan muchas preguntas sin respuesta ...

¿Cuál es la mejor ubicación y orientación de un relámpago referido a una estación transmisora y receptora? ¿Son algunas frecuencias mejores que otras? ¿Cuál podría ser la longitud máxima de un eco?

Recientemente se han descubierto elfos y duendes, provocados por potentes relámpagos positivos, gracias a cámaras de vídeo sensibles. ¿Podrían estas grandes lumi-

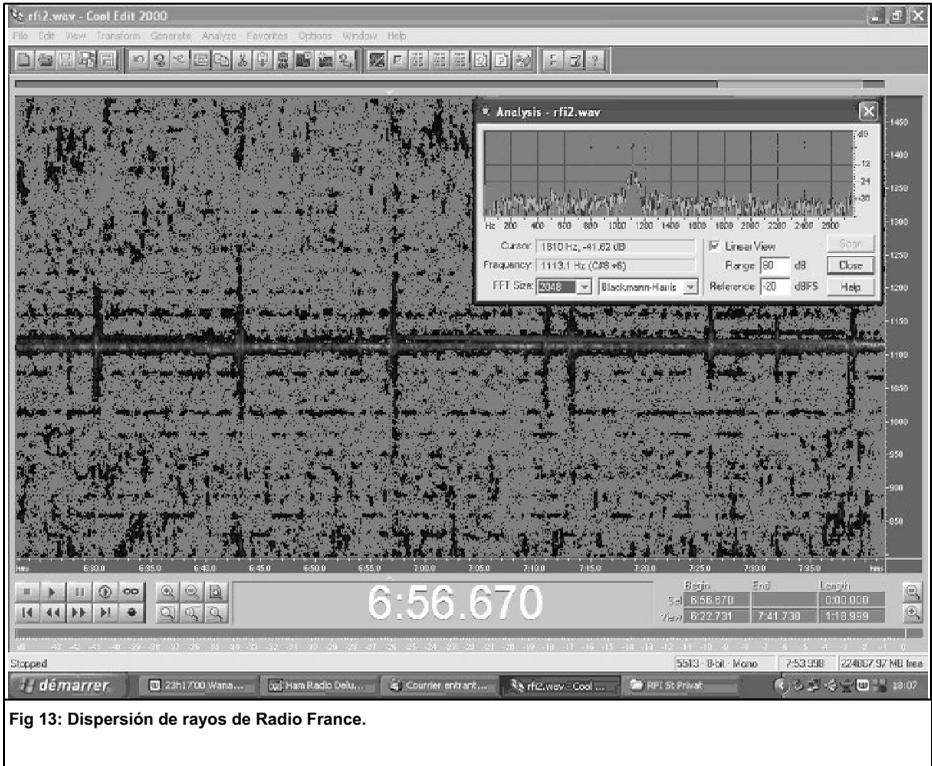


Fig 13: Dispersión de rayos de Radio France.

Las descargas nous que ocurren en la parte inferior de la ionosfera Vladimir A. Rakov y Martin A. Uman también contribuyen a la dispersión de ondas de radio de Cambridge University Press?

¡Esa es otra historia interesante!

[4] Télécommunications et Infrastructures. Gérard Barué, THALES Elipses, ISBN 2-7298-1323-3

5,0

Bibliografía

[1] Les Orages, Frank Roux, 354 páginas, tormenta, Etude de Eric Defer y James E. Documents Payot, ISBN 2-228-88328-X

[2] El relámpago, Vernon Cooray, 574 páginas, serie IEE Power, ISBN 0- Ed - Las imágenes en color de este artículo pueden 85296-780-2

[3] Rayos, física y efectos,

[5] La Propagation des Ondes, Serge Canivenc F8SH, tomo 1, 256 páginas, ediciones SORACOM, ISBN 2-904-03223-1

[6] Longitudes de relámpago deducidas de la radiación VHF para un Colorado Thunder-

Dye, Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas, Boulder, 2002.

se puede encontrar en el sitio web de VHF Communications - www.vhfcomm.co.uk