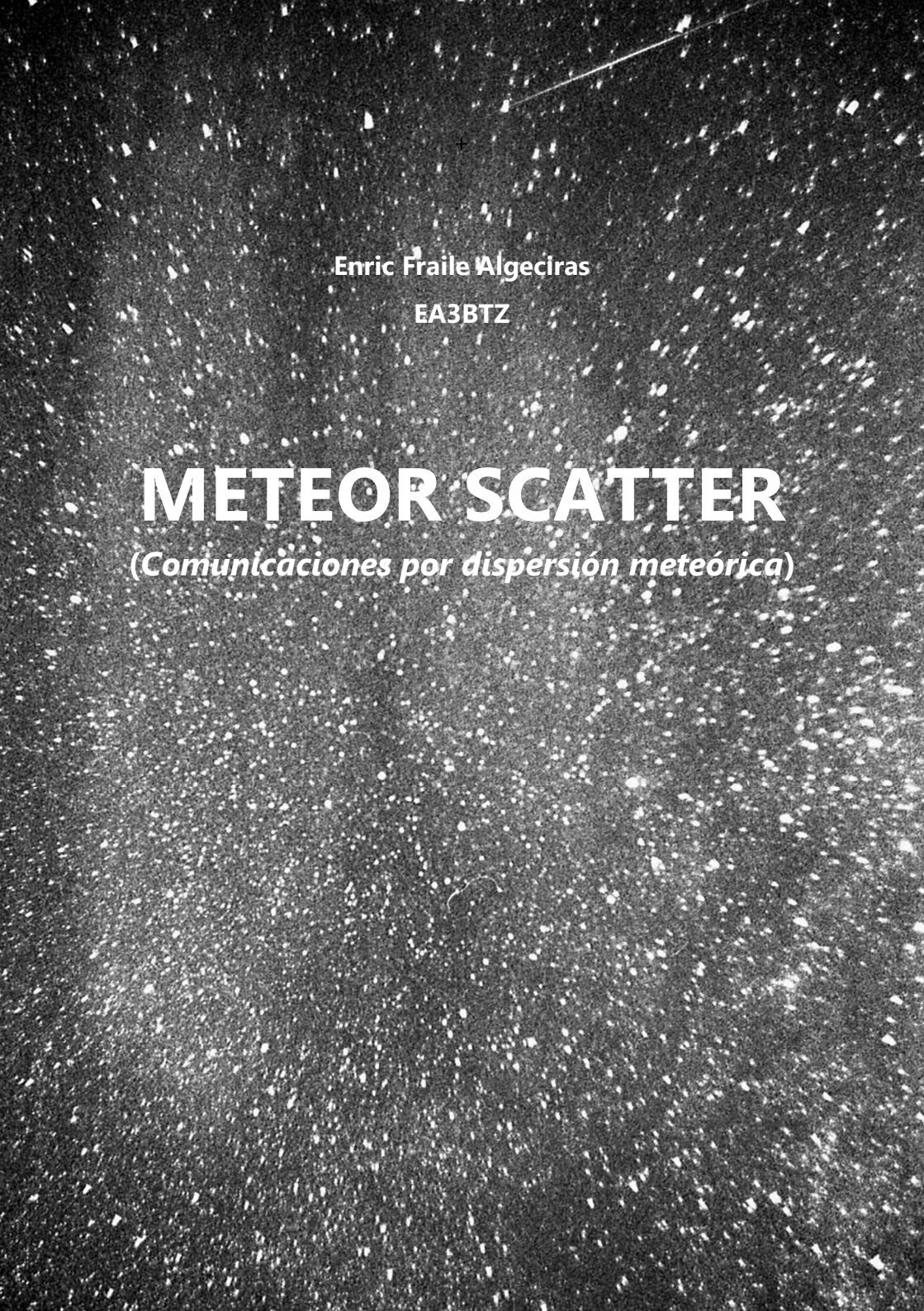


Enric Fraile Algeciras

EA3BTZ

METEOR SCATTER

(*Comunicaciones por dispersión meteórica*)

© 2026, Enric Fraile Algeciras (EA3BTZ)

Este libro se distribuye bajo una licencia **Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual (CC BY-NC-SA 4.0)**

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/



Realizado el Depósito Legal

Eres libre de compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato, siempre que se reconozca la autoría, no se use con fines comerciales y se mantenga la misma licencia.

Nota del autor:

Con la finalidad de mejorar el texto y el contenido de futuras ediciones, os agradecería que cualquier sugerencia de mejora, aportación o error que podáis encontrar lo comuniquéis directamente a la dirección de correo electrónico:

ea3btz@ea3btz.com

Créditos de edición:

Revisión lingüística y adecuación editorial realizada con la asistencia de la Inteligencia Artificial de Google.

Registro de modificaciones (Versión 2.0)

Fecha de edición: 28 de septiembre de 2026

La presente versión 2.0 de esta obra actualiza y enmienda diversos errores ortográficos y gramaticales del manuscrito original, al mismo tiempo que incorpora las siguientes mejoras y ampliaciones técnicas:

- **Diseño editorial:** Incorporación de fotografías artísticas en alta resolución tanto en la portada como en el dorso (contraportada).
- **Capítulo 1 (Pág. 12):** Adición de un nuevo párrafo histórico centrado en los trabajos desarrollados por los científicos pioneros de los Estados Unidos (USA).
- **Capítulo 1 (Pág. 24):** Inserción de un bloque de texto que documenta los orígenes e inicios de los primeros concursos internacionales de *Meteor Scatter*.
- **Material gráfico:** Introducción de las **nuevas Ilustraciones 13, 15 y 46** en el cuerpo del texto.
- **Sustitución técnica:** Reemplazo completo de la **Ilustración 17** por un diagrama geométrico optimizado.
- **Capítulo 2 (Pág. 64):** Incorporación de un párrafo técnico dedicado al análisis del radar **ZS5JF**.
- **Capítulo 2 (Pág. 82):** Modificación de los datos de la tabla y reescritura de los resultados.
- **Capítulo 7 (FAQ) (Págs. 217-224):** Modificación y reescritura integral de la respuesta técnica dedicada a los ***Hot Spots* A y B** para mejorar su comprensión pedagógica.

- **Apéndice 1 Pág. 231:** Incorporación de una tabla con las lluvias meteóricas más importantes del año.

Con la publicación de esta exhaustiva revisión queda completada de forma oficial la versión final de esta obra. A partir de este momento, cualquier sugerencia, corrección menor o futura ampliación de datos se publicará y actualizará de forma dinámica a través de mi página web oficial:

https://www.ea3btz.com

Agradecimientos:

Quisiera expresar mi gratitud, en primer lugar, a **Luis del Molino (EA3OG)**, con quien tengo la suerte de compartir proyectos comunes y de quien he contagiado parte de su gran pasión por divulgar y transmitir conocimientos a la comunidad.

Mi agradecimiento también a todos los miembros del **GET (Grup d'Estudis de Telecomunicacions)**, con quienes compartí inolvidables jornadas de debate, experimentación y difusión de la radio en VHF.

A **David Badia y Joan Lluís Pijoan**, profesores de la Escuela de Telecomunicaciones de La Salle (Universidad Ramon Llull), quienes hace ya muchos años impulsaron la creación del **RadioClub La Salle (EA3RKL)** y que hoy en día siguen brindando un soporte incondicional a los proyectos de investigación que allí desarrollamos, extensivo a todos los miembros del club.

A los numerosos radioaficionados que compartieron conmigo los heroicos inicios del *Meteor Scatter* en nuestro país. Para evitar omisiones involuntarias prefiero no citar nombres; algunos lamentablemente ya no están con nosotros, pero quienes aún resisten al pie del cañón se darán por aludidos. Mi más sincero respeto hacia todos ellos.

Y, por supuesto, a mi esposa, **Montse Benito**, por su paciencia infinita al tolerar las largas jornadas en el cuarto de radio que, en demasiadas ocasiones, me hicieron restar tiempo a mis obligaciones familiares.

Contenido

Agradecimientos: 4

Prologo 8

Preámbulo 10

Capítulo 1. Historia. 12

Los Inicios. 12

La evolución. 19

Hacia la era digital. 26

La divulgación del *Meteor Scatter*. 39

Capítulo 2. La ciencia de meteoros: 51

Descubrimiento y evolución. 51

SNOTEL (SNOwpack TELemetry) 55

Astronomía por Radar 59

Propiedades físicas de los Meteoroides 65

Características de las señales reflejadas 72

Capítulo 3. Procedimiento operativo 88

Introducción 88

Contactos programados y aleatorios (random) 90

Sincronización temporal *(Timing)* 91

Periodos de transmisión 95

Duración del QSO 96

Frecuencias de operación 96

Contactos programados 96

Contactos aleatorios (Random) 97

Procedimiento de cambio de frecuencia (QSY) para modos digitales (MGM)

97
Notación de frecuencias MGM (en kHz) 101
Operativa en CW y SSB 102
Procedimiento general del QSO 103
Llamada 103
Sistema de reporte (Código de controles) 104
Procedimiento para el envío del reporte 105
Procedimiento de confirmación (The Rogers) 106
Requisitos para considerar un QSO completo 107
Contactos válidos y el uso de medios secundarios 108
Información adicional para la comunicación antes y durante el QSO 109
Capítulo 4. Composición de una estación. 113
La antena 119
El preamplificador de recepción (LNA) 125
El amplificador de potencia (PA) 131
El transceptor de VHF 136
El secuenciador de tiempos 139
El ordenador personal 144
Los programas informáticos (Software de comunicaciones) 146
Capítulo 5. Herramientas de ayuda 159
El Chat ON4KST 159
Planificación y Conocimiento de la actividad 163
PSK Reporter 170
Recomendación Final 171
Capítulo 6. Radio Observatorios 175

Introducción....175
Historia de la observación de meteoros por radio....177
Evolución de la observación radio en nuestro país....181
RMOB (*Radio Meteor Observations Bulletin*)....200
Algunos Radios Observatorios....202
Ham-Band Radio Observation (HRO)....202
Vereniging Voor Sterrenkune (VVS)....202
BRAMS (Belgian Radio Meteor Stations)....203
SPADE (Small Phased Array DEmostrator)....204
Observatorios avanzados basados en el radar GRAVES....205
Bolidozor....205
CARMELO (Cheap Amateur Radio Meteor Echoes Logger)....208
Otras iniciativas y consideraciones técnicas....210
Capítulo 7. Preguntas Frecuentes (FAQ)....214
¿Cuál es la máxima distancia que se consigue con el Meteor Scatter?....214
¿Se pueden realizar comunicados con doble salto en meteoros?....216
¿Qué son los HOT A o B que aparecen en el programa MSK144?....217
¿Existe alguna diferencia real de rendimiento en la recepción entre utilizar el programa WSJT-X o el software MSHV?....225
¿Elevando mecánicamente las antenas 5 o 10 grados hacia el cielo se obtiene alguna mejora en Meteor Scatter?....227
Apéndice 1: lluvias meteóricas más importantes del año:....231
Apéndice 2: Cronología de una pasión: Cuatro décadas de divulgación del Meteor Scatter....232
Bloque 1: Artículos técnicos y colaboraciones editoriales....232
Bloque 2: Conferencias, ponencias y talleres impartidos....240

Prologo

Tenéis en vuestras manos, posiblemente, uno de los más interesantes libros editados con la información científico-técnica sobre comunicaciones a largas distancias mediante la técnica de dispersión meteórica.

Más de doscientas páginas recogen la historia, los fundamentos científicos, las técnicas operativas y los equipos que han permitido, en algo más de medio siglo, la posibilidad de desarrollar comunicaciones con la llegada (reentrada) de meteoros sobre la atmósfera terrestre.

La curiosidad histórica y la evolución de la técnica están recogidas exhaustivamente, tanto en la era analógica como en la era digital. Equipos, métodos, así como el software actualizado para la instalación y operatividad inmediata.

Esta obra científica refleja la capacidad didáctica y de comunicación del autor. Un cuidado y ordenado índice, rigor en las referencias documentales, así como una gran capacidad pedagógica.

Aunque el contenido está orientado a la formación de esta especialidad para radioaficionados, este libro podría formar parte como obra de consulta y referencia en estudios universitarios.

Los contenidos, correctamente estructurados, permiten que de una forma transversal se recojan los conocimientos STEM para una formación científico-técnica muy completa, sin descuidar la praxis de una forma ordenada y progresiva.

Os deseo que la lectura del libro os motive a ampliar conocimientos y a crecer tanto en el plano científico como en el personal.

Eduard García-Luengo
Profesor de Tecnología y comunicador

Preámbulo

El *Meteor Scatter* continúa siendo hoy en día una de las modalidades de propagación menos conocidas por los radioaficionados. A pesar de la formidable evolución digital, tanto en el software de comunicaciones como en las prestaciones de los equipos modernos, su práctica sigue teniendo un carácter minoritario dentro del colectivo. Si bien es cierto que actualmente podemos encontrar abundante información fragmentada a lo largo y ancho de la red, se echaba en falta una obra monográfica que explicara, bajo un mismo hilo conductor, no solo la operativa actual, sino también los orígenes históricos y la fascinante evolución de esta técnica.

Este libro nace con la modesta pretensión de ocupar ese espacio vacío. No se ha concebido como un tratado científico inescrutable, sino como un manual de consulta ameno y accesible, diseñado para que el lector comprenda los fundamentos esenciales que rigen el comportamiento de esta modalidad. La intención del autor es ofrecer una herramienta útil y de referencia tanto para aquel que se acerca por primera vez al fenómeno sin conocimientos previos, como para el operador experimentado que busca profundizar en sus bases.

Conforme avanzo en la redacción de estas páginas, soy

cada vez más consciente de la inmensa cantidad de datos, anécdotas e innovaciones que podrían llegar a incluirse; de intentar abarcarlo todo en un solo manuscrito, esta obra correría el riesgo de no terminarse nunca. Por ello, movido por el tradicional espíritu Amateur de compartir libremente el conocimiento, y distribuirlo de forma totalmente gratuita.

Concibo este texto no como un punto final, sino como un documento vivo y en constante evolución. Mi propósito es que esta primera edición sirva de base sólida para que, con el tiempo, tras sucesivas revisiones y gracias a las valiosas aportaciones o nuevas informaciones que la propia comunidad de radioaficionados pueda sugerir, el manual se vaya expandiendo en futuras versiones hasta convertirse en un compendio cada vez más robusto y completo.

Esta obra, por tanto, no pretende descubrir nada nuevo; es, en esencia, un compendio estructurado a partir de los conocimientos teóricos recopilados y la experiencia práctica adquirida por el autor a lo largo de más de cuatro décadas en las bandas de VHF. Se ha escrito con la única y firme convicción de transmitir a las nuevas generaciones lo verdaderamente mágico que resulta, todavía hoy, establecer comunicados de radio a través del rastro efímero de las estrellas fugaces.

Capítulo 1. Historia.

Los Inicios.

Para explicar la evolución del *Meteor Scatter* en el mundo de la radioafición, voy a utilizar mi propia experiencia, rellenando los huecos con los datos que he encontrado en mi investigación para la realización de este libro.

Desde el año1953[1], cuando los operadores estadounidenses **W4AO y W4HHK** observaron por primera vez señales dispersadas por meteoros en la banda de 144 MHz mientras intentaban establecer un contacto regular por propagación troposférica, este medio de comunicación despertó un interés creciente entre los radioaficionados más serios de la VHF avanzada.

Según detalla el radioclub OK2KKW[2] en su archivo histórico web, el primer comunicado oficial por *Meteor Scatter* en suelo europeo fue completado por el célebre radioaficionado suizo Hans Rudolf Lauber, **HB9RG**, en un enlace con **SM6BTT** el 13 de diciembre de 1958.

---

[1] **WALTER F. BAIN, W4LTU**, *V.H.F. Meteor Scatter Propagation, Hints on Using Meteor Trail Ionization for 2-Meter DX*, QST, April 1957

[2] **OK2KKW,** *Milestones at VHF from OK point of view*, https://www.ok2kkw.com/milestones.htm

A nivel nacional, tuvimos que esperar unos años más para ver el primer éxito. Fue concretamente el **7 de junio de 1964** cuando el pionero **Jesús M. Córdova (EA4AO)** hizo historia al realizar el primer comunicado por reflexión meteórica en nuestro país, en un exigente contacto con la estación belga **ON4FG**. Esto supuso un gran éxito para la radioafición española, ya que en aquella época aún eran muy pocas las estaciones que se dedicaban al *Meteor Scatter*.

Según contaba el propio Isidoro Ruiz-Ramos en la revista CQ del año 1993[3]:

> *-Yo empecé a trabajar meteor scatter al llegar a Madrid. En Tánger no llegué a probarlo, pero estaba detrás de ello porque ya se usaba. Yo tenía muchas dudas porque creía que era mentira, pero yo me puse a escuchar y... vi que aquello era cierto y entonces me metí. Yo vine a Madrid en el año 60 y el meteor scatter debió comenzar un par de años antes. El primer contacto, que hice el 7 de junio de 1964, fue con un belga, ON4FG, que era camerama de cine y el más lanzado en este tema. Lo hicimos con las primeras lluvias de aquel año. Tengo unos cuarenta y tantos países en 144 MHz, y en 432 MHz nos hemos llegado a escuchar un holandés y yo. Este es ingeniero especialista*

[3] **SIDORO RUIZ-RAMOS, EA4DO**, *Jesús Martín De Córdova Barreda, EA4AO (y II*), CQ Radioamateur abril de 1993, pagina 18.

en electrónica y nos conocemos personalmente.

-Aquel contacto y los demás los efectuó en telegrafía a alta velocidad. ¿Cómo conseguía aquella velocidad cuando no había ordenadores personales?

-¡No hacía falta! Hi, hi! Lo mejor era con un magnetofón pasando la transmisión a una velocidad más rápida. Lo empleábamos, como es lógico, para la transmisión y la recepción. Cuando recibíamos y había cosas interesantes, metíamos un papelito, que se aprisionaba entre las vueltas de cinta de la bobina y nos indicaba el lugar exacto al que debíamos acudir, porque el buscar aquello podía suponer una labor larguísima. Yo tenía QSO que los hacía con toda comodidad, pero había otros..., con los que perdía gran cantidad de tiempo. Con el Vibroplex, que yo utilizaba, se hacían muy bien las cuarenta palabras con toda claridad y comodidad.

Mi estreno en *Meteor Scatter* fue el 3 de enero de 1983 con PA3APH. Recuerdo que fue en casa de mi amigo Ramón Suau, EA3AQJ. Ambos estábamos interesados en esta modalidad, pero no teníamos los conocimientos necesarios para realizar el contacto; solo sabíamos que eran periodos de un minuto y que la modalidad era SSB.



Ilustración 1 *QSL de PA3PAH*

Para aprovechar las reflexiones cortas, debíamos hablar muy rápido. Imaginaos lo que es, durante un minuto seguido, repetir los indicativos de la siguiente manera:

«Papa Alfa Tres Alfa Papa Hotel, Echo Alfa Tres Bravo Tango Zulú... Papa Alfa Tres Alfa Papa Hotel, Echo Alfa Tres Bravo Tango Zulú... Papa Alfa Tres Alfa Papa Hotel, Echo Alfa Tres Bravo Tango Zulú...» [...]

Al cabo de unos segundos se nos quedaba la boca seca y nos entraba la risa floja. El problema fue que no sabíamos cómo se debía hacer el reporte de la señal: nosotros recibimos un *«two six»* (26), así que le pasamos el mismo reporte.

Más allá de la anécdota, recuerdo el impacto que me

produjo escuchar una señal que aparecía del ruido y desaparecía a los pocos segundos. Por aquel entonces, yo me estaba iniciando en el DX en 144 MHz, vivía en la ciudad de Barcelona y sabía lo difícil que era realizar comunicados de más de unos pocos cientos de kilómetros. En verano teníamos grandes aperturas de propagación troposférica con las que recibíamos a los italianos con fuertes señales; también recuerdo las aperturas de F.A.I. (*Field Aligned Irregularities*), donde, dirigiendo la antena hacia los Alpes suizos, podíamos contactar con yugoslavos con cierta facilidad, y, por supuesto, las aperturas de esporádica de la capa E. Pero ninguna de estas modalidades me cautivó tanto como recibir los indicativos gracias a la reflexión de nuestras señales en un meteoro. **Fue mágico.**

Tras un periodo de inactividad debido a mi incorporación al servicio militar obligatorio, coincidió la fecha de mi licencia con el cambio de residencia familiar: nos trasladamos de la ciudad de Barcelona (antiguo localizador BB41e actual JN11cl) a Torrelles de Llobregat (antiguo AB60b actual JN11bi), a unos 20 km de la capital. El lugar, aunque no era ideal, estaba despejado hacia Europa y libre del ruido de la gran ciudad. Allí instalé una antena de 16 elementos con un preamplificador dotado de un transistor 3SK97. El receptor era un ICOM IC-251E y el transmisor un ICOM IC-202 que excitaba un amplificador de dos

lámparas 4CX250B; y, por supuesto, un secuenciador con relés para proteger tanto el preamplificador como el receptor. Así empezó mi nueva y más excitante época en VHF y, en especial, en el *Meteor Scatter*.

El primer comunicado en esta nueva etapa lo realicé el 26 de julio de 1984. Por supuesto, fue en SSB, modalidad en la que hacíamos todos los primeros comunicados, y siempre mediante cita previa (*sked*).

Como no existía Internet, teníamos dos formas de concertar estas citas: la más habitual era por carta, y la otra era a través del NET de VHF que se realizaba los fines de semana en la banda de 20 metros para el ámbito internacional. Una vez pactada la cita, todo consistía en esperar que la fortuna nos sonriera y que en ese día y hora concretos se produjera la caída de algún meteoro. Fueron cientos de citas, no todas con éxito; pero pronto me di cuenta de que, para asegurar el comunicado, era necesario que el corresponsal dispusiera de buena potencia. Esta modalidad precisa de potencias cercanas a los 500 W; eso ayuda, y mucho.

La mayoría de las citas se realizaban fuera de las grandes lluvias, utilizando los meteoros esporádicos y, en especial, por las mañanas. Para que la operación no fuera tan cansada, utilizábamos periodos de transmisión de un minuto en SSB con paradas cada 15 segundos. Este *«break»* se

pactaba previamente con el corresponsal, por lo que disponer de un aviso acústico al finalizar la transmisión —un *«bip Roger»*— ayudaba enormemente a identificar el cambio.

Durante los máximos de las lluvias más fuertes, la actividad se centraba en la modalidad *«random»* (sin cita previa) en la frecuencia de 144.200 MHz. Era espectacular captar alguna reflexión larga (*burst*) en la que podías escuchar a varias estaciones llamando al mismo tiempo. En esos momentos, la habilidad del operador era crucial para conseguir que los contactos se finalizaran con éxito. Las lluvias con más actividad eran las Perseidas en agosto y las Gemínidas en diciembre, pero también las Líridas en abril o las Cuadrántidas en enero.

Como podéis intuir, además de los conocimientos operativos y de las condiciones técnicas mínimas necesarias, también hacía falta una base de conocimientos astronómicos.

Cada vez eran más los aficionados que trabajaban el *Meteor Scatter* en telegrafía de alta velocidad (HSCW), pero en nuestro país las personas activas eran muy escasas. Resultaba curioso que, al dirigirte a ellas para solicitar información, solo te dijeran que era «muy complicado» o, simplemente, no te explicaran cómo hacerlo. Desconozco el

motivo; quizás, al ser tan pocos, se sentían privilegiados y no querían competencia. Sin embargo, en una afición donde una de las características principales es compartir, no terminaba de entenderse esa hermeticidad. Pero como en la viña del Señor tiene que haber de todo, la situación cambió gracias a un radioaficionado italiano, Enrico Baldacci, I5WBE. En el año 1985, Enrico nos envió un artículo publicado en la radio revista italiana titulada: *"Tasto elettonico con memoria 2048 BIT"*, se trata de un manipulador con memorias capaz de elevar la velocidad de transmisión cerca de las 1.800 letras por minuto. Un reducido grupo de aficionados de Cataluña (EA3) pudimos construir ese manipulador y, con él, entrar de lleno en una nueva etapa de la afición.

La evolución.

Y, por fin, me pude estrenar en telegrafía de alta velocidad (HSCW) gracias al nuevo manipulador: fue el 19 de julio de 1985 con PA3CGR.

Mientras que teníamos la parte de la transmisión resuelta, el gran problema seguía residiendo en la recepción. La única solución que existía en ese momento era la de grabar el audio de la banda mediante un casete (tal y como lo hacía EA4AO en los años 60). Los más afortunados utilizaban el famoso grabador de bobinas abiertas UHER, que ya

llevaba incorporado un selector que permitía grabar a velocidad muy rápida y reproducir a velocidades más lentas para poder decodificar la CW. Los que no disponíamos del poder adquisitivo necesario para adquirir esta maravilla de la tecnología alemana, comprábamos un reproductor de casete normal y modificábamos su velocidad de arrastre mediante un simple circuito que controlaba la tensión del motor. El sistema era rudimentario, pero altamente eficaz, y así se mantuvo durante un par de décadas.



Ilustración 2. *Manipulador y grabador de EA3EHQ*

Un problema añadido que presentaba este sistema de decodificación analógico era que, al reproducir el audio ralentizado, dependíamos por completo del tono con el que se había grabado originalmente la reflexión (*burst*). Si el tono de batido en el receptor estaba por debajo de los 1000 Hz, al bajar la velocidad en el casete el tono resultante era tan grave que se hacía casi imposible interpretar

el código Morse. Para solucionar esto, apareció en el número 4 de 1985 de la prestigiosa revista *DUBUS* un circuito convertidor de la señal de audio diseñado por LA8AK. Este circuito, intercalado entre la salida de audio del receptor y el casete, aumentaba el tono de la reflexión, haciendo mucho más cómoda la decodificación una vez reducíamos la velocidad de escucha.

En esa misma década, un grupo de aficionados de Cataluña —que más tarde fundaríamos el GET (Grup d'Estudis de Telecomunicacions)— empezamos a viajar asiduamente a la feria *HAM RADIO* de Friedrichshafen en Alemania, y más tarde a la feria especializada *UKW-Tagung*, que se celebraba en la ciudad alemana de Weinheim. Estos eventos continúan celebrándose hoy en día, pero ya no son lo que fueron en los años 80 y 90. Aquellos viajes nos abrieron muchísimas puertas, ya que nos permitían entablar contacto personal con otros operadores de *Meteor Scatter* de Europa, aprender de ellos y, sobre todo, adquirir equipos de medida y componentes de VHF que en nuestro país eran dificilísimos de encontrar.



Ilustración 3. *Keyer Fischer IMK100*

En estas ferias, a principios de los 90, vimos por primera vez el *C-MOS-Memory-Keyer*, que permitía grabar varios mensajes en memoria y reproducirlos a gran velocidad. Yo diría que el modelo ETM-8C se convirtió en uno de los estándares indiscutibles en la transmisión de CW de alta velocidad de la época. Años más tarde apareció el *Memory-Keyer* IMK-100, desarrollado por Frank G. Fischer, pero que a diferencia del ETM-8C no integraba las palas del manipulador (*paddles*). Yo adquirí uno de estos dispositivos y fue el que me acompañó fielmente hasta la llegada de la era digital. Con el paso de los años y los avances en la electrónica, aparecieron otros modelos de manipuladores electrónicos que ofrecían la posibilidad de transmitir a velocidades de vértigo.

A finales de los 90, y gracias al avance tecnológico, DF7KF diseñó el DTR-MS (*Digital Tape Recorder*), lo que supuso una auténtica revolución al ofrecer un formato digital para la recepción, convirtiéndose en el sustituto natural del antiguo casete. Eso sí, solo para quien pudiera permitírselo, porque su precio no estaba al alcance de muchos de nosotros, que continuamos exprimiendo el rudimentario método de la cinta magnética.

A pesar de estas limitaciones tecnológicas, yo seguía disfrutando al máximo de esta modalidad. En el año 1987, junto con el grupo de concursos de la sección de URE de Barcelona (EA3MM), realizamos las primeras pruebas de *Meteor Scatter* en la banda de 432 MHz, aunque con escaso éxito. Intentamos contactos con G4RNL, DK1PZ, Y22ME y PA3DZL; con este último fue con el único que logramos escuchar un pequeño *ping*, pero sin información suficiente. Esas fueron mis únicas experiencias en UHF. Sin embargo, en el año 1989 realicé mi primer contacto en *Meteor Scatter* en la banda de 10 metros (28 MHz) con IK0BZY. Este comunicado y otras pruebas sucesivas confirmaron que esta modalidad también se podía realizar en HF utilizando una simple antena Yagi y apenas 100 vatios de potencia. A estas experiencias propias hay que sumar las activaciones en portable que, junto al grupo de EA3MM, realizamos desde provincias deseadas como Teruel, Soria o incluso el

principado de Andorra.

Con el propósito de popularizar el Meteor Scatter, se crearon competiciones organizadas que se remontan al verano de 1979, cuando una iniciativa conjunta de radioaficionados alemanes y holandeses coordinó un maratón de actividad aprovechando el máximo de las Perseidas. Sin embargo, la formalización definitiva de la modalidad llegó de la mano de la RSGB (Radio Society of Great Britain). En enero de 1981, su Comité de VHF publicó en la revista Radio Communication las reglas oficiales del European Meteor Scatter Contest, un hito que transformó este desafío técnico en una disciplina competitiva regulada a nivel europeo, basando su puntuación en la distancia por kilómetro y en los multiplicadores geográficos.

Recogiendo este testigo, en diciembre de 1990 el prestigioso Bavarian Contest Club (BCC) inauguró su primera edición del **BCC Telegraphy Meteor Scatter Contest**, un concurso diseñado específicamente para la telegrafía de alta velocidad (HSCW) que se disputaba **durante la lluvia de las Gemínidas**.

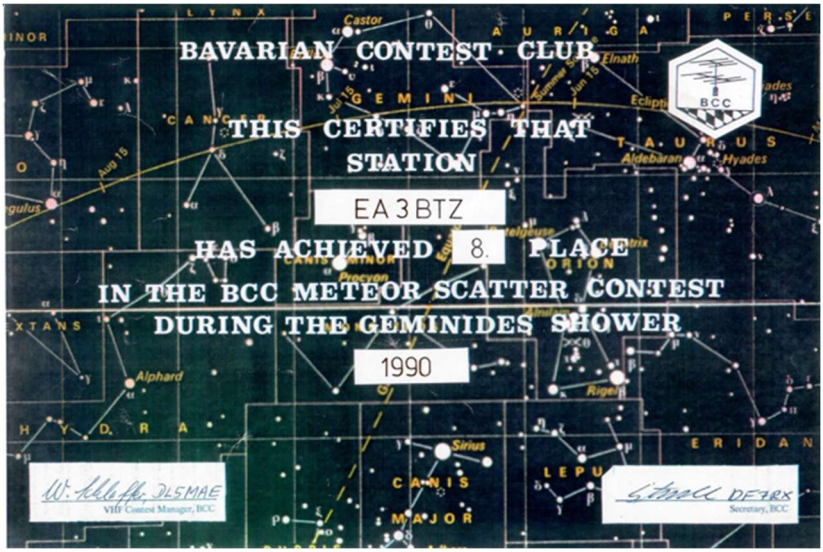


***Ilustración 4**. Diploma del BCC Meteor Scatter Contest*

La modalidad era exclusivamente en CW a una velocidad recomendada de 1000 letras por minuto, con periodos de transmisión de 2,5 minutos (cabe recordar que, en los inicios, los periodos en CW llegaban a ser de 5 minutos). Todos los QSOs debían realizarse estrictamente en *«random»*, estando totalmente prohibidas las citas previas (*skeds*). Participé en ese concurso obteniendo la octava plaza europea. Mi mejor clasificación en este evento llegó en el año 1994, cuando conseguí una orgullosa cuarta posición. Iniciativas como esta lograron disparar la actividad y propiciaron el incremento de nuevos aficionados a la modalidad.

Siguiendo esta misma filosofía de promoción, el grupo GET diseñó e instaló la primera baliza experimental de *Meteor Scatter* en Europa (*Meteor Scatter Experimental Beacon*) el 6 de agosto de 1994. La baliza se ubicó en la Estación Agrometeorológica de l'Alta Segarra, en el término de Veciana, Barcelona (JN01rq). La frecuencia elegida fue la de 144.477 MHz, alimentando una antena Yagi de 16 elementos con una potencia de 80 vatios. El sistema transmitía de forma continua el mensaje: *«TEST MS GET JN01 BOX 23103 E 08080»* en CW a una velocidad de 800 letras por minuto. Que yo tenga constancia, ha sido la única baliza de estas características operando ininterrumpidamente durante un año en el continente, recibiendo una ingente cantidad de reportes de estaciones europeas que la utilizaban como monitor de propagación en tiempo real.

Hacia la era digital.

Pocos avances tecnológicos más sufrió el *Meteor Scatter* durante esas dos décadas, pero algo estaba cambiando.

El 25 de marzo de 1987 recibí una información de Tom Clark, W3IWI, sobre unas pruebas que realizó en PSK en la banda de 10 metros entre W3IWI y KL7RA, demostrando que se podían enviar tramas de datos en HF a velocidades de 1200 baudios. También ese mismo año, Thomas

Johansson, SM5IXE[4] realizó un experimento que consistía en verificar si era posible decodificar paquetes AX.25 modulados en BPSK a 1200 bits por segundo. El experimento se llevó a cabo en el periodo comprendido entre el 7 y el 16 de diciembre de 1987, coincidiendo con la lluvia de las Gemínidas. La estación maestra (SK5BN) estaba localizada cerca de Linköping, en el sur de Suecia, y la estación esclava (SK2GL) se situó en Kiruna, cerca del círculo polar ártico, con una distancia de 1100 km entre ambas. A pesar de las interferencias que sufrió la estación SK2GL durante el periodo de pruebas, se recibieron un total de 96 tramas SABM (*Set Asynchronous Balanced Mode*).

Poco después, en el número 3 de 1988 de la revista *DUBUS*, apareció un artículo de IK2KFX[5] en el que explicaba la viabilidad de realizar contactos en *Packet Radio* por *Meteor Scatter* si se utilizaban módems PSK en vez de los habituales FSK.

En esa época ya éramos conocedores de que existían redes profesionales digitales que utilizaban los rastros de los

---

[4] **THOMAS JOHANSOON**, *AX25 Packet Radio Communications Using Meteor Scatter Propagation*, AMSAT-Dm, 1987

[5] **GIUSEPPE P. ZOLLO**, *Packet Radio Meteor Scatter*, Dubus magazine, 1988

meteoros como medio reflector. Estas empresas operaban bajo el concepto de *Meteor Burst Communications* (MBC) y habían demostrado la fiabilidad del sistema a lo largo de los años. Conseguían tasas de información de 20 Kbit a 600 km, o cerca de 1 Kbit a 2200 km, utilizando frecuencias cercanas a los 50 MHz con equipos capaces de proporcionar 1 kW de potencia y sistemas radiantes con una ganancia mínima de 10 dBd.

A pesar de estos avances en el campo profesional, la evolución no terminaba de verse en el mundo amateur. Aun así, yo mismo me sumé a las pruebas de *Packet Radio* por *Meteor Scatter* mediante un ensayo que realicé junto a Gunter Koellner, DL4MEA, durante las Gemínidas de 1989. Recibí reflexiones espectaculares, pero fui incapaz de decodificar ninguna trama. Yo no era informático y tampoco un apasionado del *Packet*; al utilizar una TNC con modulación FSK tradicional, era imposible decodificar los datos. Unos meses más tarde, Gunter me envió una carta con información para construir un sintonizador digital para Packet[6] y RTTY, de modo que pudiéramos centrar con precisión los paquetes recibidos y extraer alguna información.

[6] **JOHN W. LAGNER WB2OSZ**, *Prevision Packet Tuning, 73 Amateur Radio,* agosto, 1986

El problema de fondo radicaba en usar FSK en vez de PSK: en aquella época era una odisea lograr que las dos estaciones estuvieran exactamente en la misma frecuencia, ya que no existía el GPS comercial y los equipos no se podían disciplinar mediante osciladores externos de precisión. En fin, como lo digital no era mi mundo en aquel momento, no continué con las pruebas.

Fueron pasando los años sin grandes progresos tecnológicos en esta modalidad, a excepción de algunas pruebas muy aisladas. Es por ello por lo que decidí escribir un artículo en la revista *Radioaficionados* del mes de diciembre de 1993 titulado: *«Las Perseidas y los aficionados del soldador caliente»*. En él, intentaba explicar que, a pesar de que existían pruebas concluyentes de que se podían utilizar técnicas digitales en las comunicaciones por *Meteor Scatter*, en el ámbito de la afición seguíamos anclados en la modalidad tradicional de HSCW (telegrafía de alta velocidad) y parecía que nos habíamos estancado. Por este motivo, hacía un llamamiento a todas aquellas personas que tuvieran conocimientos avanzados para que desarrollaran alguna técnica digital que mejorara la eficacia real de los contactos.

En el año 1994 me puse en contacto con Giuseppe, I2KFX, para conocer la evolución de sus pruebas en PSK. Para mí,

Giuseppe fue el auténtico pionero en introducir las técnicas digitales en el *Meteor Scatter*. En su carta de respuesta me detallaba los avances y me comentaba que, aunque él era el desarrollador del programa *METEOR SCATTER*, por aquel entonces solo I0VUQ y DL2JA habían pasado realmente de las ideas a los hechos. Los ordenadores de la época eran IBM PS/2 o clones PC 386; estos equipos estaban muy mal aislados contra la radiofrecuencia (RF) y generaban pitos y ruidos a lo largo de toda la banda de 144 MHz, lo que suponía un problema añadido muy serio. Reproduzco a continuación un fragmento literal de su carta:

> *«... La cosa más importante es el tipo de modulación: la más eficiente es, seguramente, la modulación PSK, sea bifase o cuadrifase. El módem desarrollado por los japoneses para su satélite Fuji-OSCAR es excelente y fácil de construir. Otros tipos de módem son totalmente inadecuados: los 1200 baudios FSK sobre FM son de una estupidez absoluta, incluso para el Packet normal. El sistema a 9600 de G3RUH es un verdadero FSK, pero los receptores de FM no han nacido para el DX y sus características de frecuencia intermedia son imprevisibles.*
>
> *Los módems PSK con demoduladores coherentes, o sea, con recuperación de la portadora, son excepcionales: decodifican perfectamente señales S0 y se enganchan en fase a la señal transmitida. Evidentemente, para esto se*

utilizan aparatos en SSB...»

Y continuaba con detalladas explicaciones técnicas que ya dejaban entrever hacia dónde se dirigiría de forma imparable el futuro de la modalidad del *Meteor Scatter*.

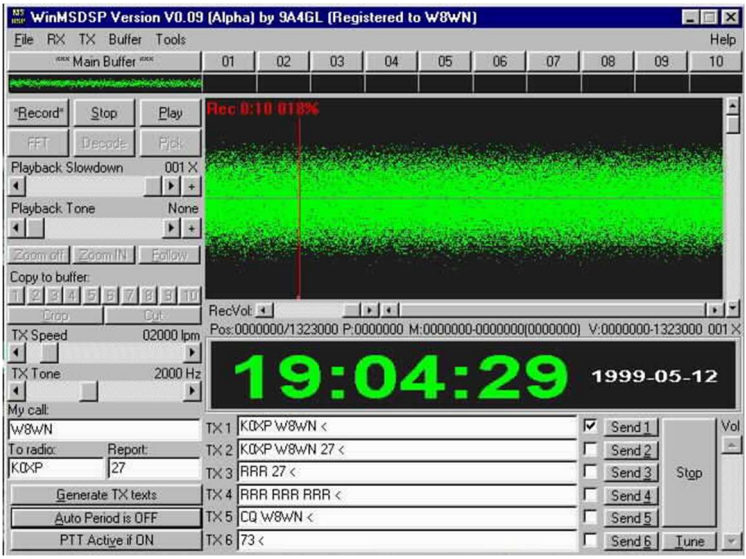


Ilustración 5. *Pantalla del programa WinMSDSP*

Hacia el año 1995, aproximadamente, fue cuando Tihomir, 9A4GL, desarrolló un programa que denominó MSDP (*Meteor Scatter Digital Signal Processing*), cuya versión posterior más conocida para entornos gráficos sería WinMSDSP. El programa corría sobre Windows 95, aunque existía otra versión diseñada para funcionar bajo MS-DOS. Su gran innovación consistía en utilizar un ordenador equipado con tarjeta de sonido para sustituir por completo tanto al

manipulador electrónico tradicional como al casete de audio, ya que el propio software realizaba ambas funciones de forma integrada. Con esto no se modificó la modalidad de transmisión (seguía siendo CW de alta velocidad), pero supuso un salto de gigante en la comodidad de uso para el operador.



Ilustración 6. *Foto de AA1GW del conjunto DSP-10*

Y así alcanzamos el año 1999, cuando W2EV publicó un visionario artículo en la revista *QST* de noviembre en el que aseguraba que la siguiente generación del *Meteor Scatter* consistiría en sistemas digitales automatizados basados en la tecnología de *Packet Radio*.

Ese mismo año nació un proyecto que revolucionaría por completo las comunicaciones de señales débiles en VHF:

Bob Larkin, W7PUA, publicó en los números de septiembre, octubre y noviembre de la revista *QST* el diseño de un transceptor experimental todo modo. Este equipo utilizaba un procesador digital de señales (DSP) en la frecuencia intermedia (FI) y se integraba con la siguiente suite de programas:

- **Modo EME-2:** Sincronización automática de transmisión/recepción y corrección Doppler para autoecos en EME. La visualización espectral de dos trazos proporciona cualquier nivel de integración de potencia de señal y ruido, lo que permite ver ecos hasta 30 dB por debajo de los niveles audibles.
- **LHL-7:** Modo FSK de siete tonos para comunicaciones que no requieren un control de frecuencia preciso. Permite la transmisión y recepción automáticas de señales demasiado débiles para ser audibles, pero que aún resultan visibles en la pantalla en cascada (*waterfall*). Este modo es compatible con EME y cuenta con corrección del efecto Doppler.
- **PUA-43:** Utiliza FSK de cuarenta y tres tonos con una «integración a muy largo plazo» adaptable. Este modo proporciona transmisión y recepción automáticas para comunicaciones terrestres o EME, lo que permite un gran nivel de ajuste entre la velocidad de datos y la intensidad de la señal. La «Estimación de Mensaje» se

utiliza para mostrar siempre el mensaje más probable junto con una segunda alternativa. El color de cada carácter indica el nivel de confianza de cada símbolo.

La revolución ya estaba en camino. Aunque no tengo constancia de los resultados prácticos del proyecto DSP-10 en *Meteor Scatter*, el modo PUA-43 fue, sin duda, el que inspiró a Joe Taylor, K1JT, a desarrollar en el año 2001 un software específico para revolucionar las comunicaciones por reflexión meteórica en VHF.

En este punto, el lector seguro que ya está más familiarizado con el software que ha sido el referente absoluto de las comunicaciones de señales débiles durante más de un cuarto de siglo. Ahora sí, podíamos jubilar definitivamente el viejo grabador de casete modificado y el manipulador electrónico para sustituirlos por un ordenador personal y el programa WSJT[7] de Joe Taylor.

El nombre de WSJT responde al acrónimo en inglés de *«Weak Signal communications, by K1JT»* (Comunicaciones de Señales Débiles, por K1JT). El programa contenía el modo FSK441, diseñado específicamente para comunicados por *Meteor Scatter* a alta velocidad, aprovechando los

[7] **JOE TAYLOR K1JT**, *WSJ: New Software for VHF Meteor-Scatter Communication*, Revista QST, Diciembre del 2001

breves pulsos de señales reflejadas por las estelas ionizadas de los meteoros a unos 100 km de altura. Estos pulsos (*bursts*) suelen tener una intensidad de apenas unos pocos decibelios por encima del ruido del receptor y su duración oscila entre diez y unos cientos de milisegundos. Mediante estos breves destellos de propagación, el FSK441 facilitaba los contactos entre radioaficionados (QSOs) en un rango de entre 800 y 2200 km, principalmente en la banda de 2 metros y otras bandas de VHF.

Al principio, algunos de nosotros, a pesar de la innegable eficacia del sistema, éramos un tanto reacios a utilizarlo.

Pensábamos que con la automatización informática se perdía esa magia inicial de la SSB o de la descodificación mental de la telegrafía de alta velocidad.



***Ilustración 7**. Foto de EA3BTZ y K1JT durante la entrevista*

Así se lo hice saber al propio Joe Taylor en una entrevista[8] que tuve la inmensa suerte de realizarle en el año 2006, durante el Congreso Nacional de la URE celebrado en Blanes. Reproduzco a continuación la parte correspondiente que se publicó en la revista de la asociación:

> ***E.F.:** A pesar de que gracias al FSK441 se está reactivando notablemente la actividad en Meteor Scatter —ya que estaciones más modestas, con menos antena y potencia, pueden introducirse en esta modalidad—, dime, Joe, ¿no se pierde un poco la magia del comunicado que realizábamos en SSB o en CW? Ahora da la impresión de que es*

[8] **ENRIC FRAILE ALGECIRAS**, *Joe Taylor, K1JT, Revista Radioaficionados*, febrero del 2006

demasiado fácil e incluso puede inducir a error al finalizar un QSO. Creo que el rebote lunar (EME) es diferente, pero en Meteor Scatter muchas veces el programa puede descodificar las «R» finales cuando en realidad no hay una certeza absoluta de que pertenezcan a nuestro corresponsal, no sé si me explico bien.

J.T.: *Sí, creo que estás en lo cierto.*

E.F.: *Por favor, no te lo tomes como una crítica.*

J.T.: *No, te entiendo perfectamente. Creo que muchos nuevos corresponsales están capacitados o tienen equipos listos para trabajar Meteor Scatter, incluso EME, y se sienten realmente entusiasmados por experimentar con una nueva técnica. Para ellos, el poder trabajar estaciones a 2000 km de distancia en cualquier momento en la banda de 2 metros a través de reflexiones meteóricas es algo fantástico, pero esa falta de experiencia en muchos de ellos puede llevar a confusión. Por este motivo, es muy necesario que los operadores con más experiencia intercambien información y compartan los procedimientos, simplemente para que los recién llegados conozcan bien la operativa y sepan con total certeza cuándo un QSO está finalizado correctamente.*

Hoy en día, pasados los años, hay que reconocer que la introducción del FSK441 a principios de la década de los 2000 supuso un cambio radical que revolucionó por

completo las comunicaciones por *Meteor Scatter* en VHF.

Hacia el año 2016 apareció un software alternativo de origen alemán para trabajar *Meteor Scatter* en MSK, pero no soy capaz de recodar de quien se trataba, todo y que recuerdo que me instale el software para hacer pruebas; sin embargo, casi en la misma época, con el lanzamiento de la versión 1.7 del programa **WSJT-X**, irrumpió con fuerza una nueva modalidad: el **MSK144**[9].

Poco a poco, el MSK144 ha ido reemplazando por completo al viejo FSK441 como el estándar indiscutible para el *Meteor Scatter*. El modo MSK144 opera a una velocidad de modulación de 2000 baudios, lo que se traduce en una transmisión aproximadamente 1,7 veces más rápida que el FSK441. Además, integra un sistema de corrección de errores hacia adelante (FEC) mediante verificación de paridad de baja densidad (LDPC) que garantiza la generación de texto completamente limpio y libre de caracteres erróneos, incluso con señales extremadamente débiles.

Aunque utiliza tramas estándar de 72 ms, introduce un protocolo abreviado (*shorthand*) capaz de descodificar

[9] **Steven Franke, K9AN y Josep H. Tayor, K1JT**, *The MSK 144 Protocol for Meteor-Scatter Communications*, Revista QEX septiembre/Octubre 2017

reportes de señal utilizando *pings* tan increíblemente breves como 20 ms. Al emplear la modulación por desplazamiento mínimo (MSK), proporciona una baja relación de potencia pico a promedio (PAR ~ 1,3), lo que resulta altamente eficiente para no castigar los amplificadores lineales de los aficionados.

Para mí, la diferencia fundamental entre el FSK441 y el MSK144 radica en que, en FSK, cualquier reflexión —por vaga que fuera— era descodificada por el ordenador, provocando que si venía acompañada de ruido aparecieran ristras de caracteres aleatorios en la pantalla. En cambio, en MSK144 las tramas se descodifican de forma binaria: o el paquete de datos está completamente libre de errores o sencillamente se descarta y no se muestra nada. Sin embargo, su sensibilidad es tan asombrosa que cualquier leve susurro en el receptor es procesado con éxito, lo que eleva drásticamente la eficacia de los comunicados.

En el momento de escribir este libro, el MSK144 se ha consolidado, sin lugar a duda, como la modalidad reina y más utilizada por la comunidad internacional de radioaficionados para el *Meteor Scatter*.

La divulgación del *Meteor Scatter*.

A estas alturas, el lector se habrá dado cuenta de que uno

de los mayores desafíos en los inicios era la escasez de información o, mejor dicho, la enorme dificultad para acceder a ella en la era pre-Internet. Investigar y divulgar en aquella época requería una dosis extra de paciencia y tenacidad.

La única solución viable para estar al día consistía en suscribirse al mayor número posible de publicaciones impresas y, en caso de duda, armarse de papel y bolígrafo para enviar cartas postales a otros colegas interesados en la materia. Como ya he mencionado, la revista alemana *DUBUS* era un pilar imprescindible en cualquier cuarto de radio avanzado. Editaban cuatro números al año y, además de sus rigurosos artículos técnicos, incluían una sección de actividad donde el *Meteor Scatter* ocupaba un lugar destacado. Aquellas páginas eran devoradas por quienes buscábamos entender el comportamiento de la propagación.

Por su parte, la *Radio Society of Great Britain* (RSGB)[10] editaba un pequeño pero valiosísimo libreto compuesto por tablas gráficas. El encabezado de cada tabla indicaba el nombre de la lluvia de meteoros, el periodo de actividad, las fechas aproximadas del máximo, la Tasa Horaria Cenital

[10] **G.H. Grayer, GeNAQ y C.P. Bartram, G4DGU**, *METEOR SCATTER DATA*, RSGB, 1980

(ZHR, que mide la actividad relativa del enjambre) y sus coordenadas astronómicas esenciales: la ascensión recta (RA) y la declinación. Estas tablas se convertían en nuestra particular hoja de ruta para planificar meticulosamente las citas previas (*skeds*).

En esa misma línea de intercambio de datos, el año 1986 marcó un punto de inflexión con la recepción, por primera vez, del boletín *2 Meter News Sheet* (2MNS), publicado por Lars Espersson, SM6AFH. Este boletín era un faro de información sobre actividad general y expediciones en VHF, y anualmente distribuía una hoja resumen con los datos críticos de las principales lluvias meteorológicas del año.

Asimismo, resultaba indispensable acudir a fuentes puramente científicas. El puente entre la radio y la astronomía se consolidaba a través de asociaciones como la *British Meteor Society* (BMS), fundada en 1969. Esta entidad disponía de un boletín con información puramente técnica y matemática sobre los enjambres, y gestionaba un catálogo impresionante con cerca de mil radiantes perfectamente clasificados.

Con los datos obtenidos de aquellos catálogos, calculábamos la declinación y la ascensión recta de los radiantes de las diferentes lluvias. Una vez conocida la declinación, se dibujaba manualmente la elipse que formaba el radiante

con el cielo en una proyección horizontal. Sobre el centro de esta elipse, superponíamos un papel vegetal dividido en 24 horas, haciendo coincidir el centro del papel con el punto geográfico del observador. Girando con paciencia ese papel vegetal sobre la elipse calculada, podíamos visualizar, dependiendo de la hora, cuál era la posición y la dirección óptima para orientar nuestras antenas.

Está claro que en los mismísimos inicios no se tenían en consideración estos parámetros tan complejos; sin embargo, con el paso del tiempo, el colectivo fue adquiriendo pequeños conocimientos de astronomía que resultaron vitales para mejorar notablemente el éxito de las citas previas.

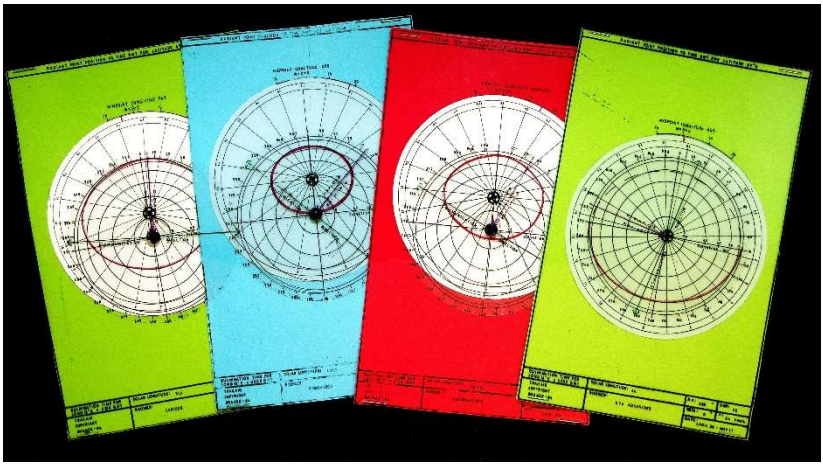


Ilustración 8. *Trailaid de SM6AEK, año 1984*

En esta línea, el operador sueco SM6AEK diseñó unas

cartas artesanales que denominó *TRAILAID*, las cuales facilitaron aún más el cálculo del momento óptimo para intentar un comunicado. En la ilustración 8 se aprecian las cartas correspondientes a las Eta Acuáridas, las Perseidas, las Líridas y las Cuadrántidas.

A nivel nacional, José María, EA3LL, empezó a publicar el boletín *IVUS-EA*, que distribuía entre todos los suscriptores con información variada sobre V-U-SHF. En sus páginas siempre se reservaba un valioso apartado dedicado en exclusiva al *Meteor Scatter*.

Por su parte, SM6FKF publicó una detallada lista de estaciones activas con sus respectivas direcciones postales, lo que agilizaba enormemente la tarea de solicitar citas por correo. Como dato curioso de la época, en nuestro país constaban apenas unas 63 estaciones activas en todo el año 1988, lo que representaba tan solo un 0,3% del censo total de radioaficionados de entonces. Aunque es difícil precisar el porcentaje exacto en nuestros días, el *Meteor Scatter* continúa siendo una modalidad minoritaria, a pesar de que la tecnología actual la hace muchísimo más accesible que hace treinta o cuarenta años.

Aquellos primeros años no solo fueron increíblemente divertidos, sino que funcionaron como una auténtica escuela de aprendizaje continuo. Sin embargo, la divulgación de

esta modalidad iba a exigir dar un paso al frente y salir de la comodidad del cuarto de radio.

Los días 17 y 18 de octubre de 1987 tuvo lugar el *Primer Congreso de Grupos Amateurs de Actividades Científicas*, organizado por el CIRIT de la Generalitat de Catalunya. El evento se estructuraba en diferentes áreas y, dentro del Ámbito de Ciencias Tecnológicas (en el subámbito de Telecomunicaciones), la organización me pidió que impartiera una conferencia sobre la reflexión de meteoros, representando a la sección de la Unión de Radioaficionados de Barcelona.

Debo confesar que aquella petición me hizo una ilusión tremenda, pero al mismo tiempo me generó una enorme responsabilidad. Hasta ese momento, jamás había hablado en público y, por qué negarlo, la situación me producía bastante ansiedad. La charla explicativa correría a mi cargo, mientras que mi buen amigo Rafael Gálvez, EA3IH —también muy activo en la modalidad—, se encargaría de un pase de diapositivas que ya teníamos preparado. Me preparé a conciencia el texto y anoté una pequeña "chuleta" con los puntos clave. El problema fue que, al llegar el momento de subir al estrado, perdí el papel y me quedé completamente en blanco. Comencé a hablar sin saber muy bien lo que decía; lo pasé realmente mal. Aunque al

terminar los asistentes aseguraron que la ponencia había ido bien, yo no quedé nada satisfecho.

Aquel tropezón marcó un punto de inflexión en mi vida. En lugar de desanimarme, me propuse firmemente que algo así no volvería a suceder. Decidí que la mejor manera de vencer ese miedo era, precisamente, exponerme a él. A partir de entonces, me ofrecí voluntario para divulgar el *Meteor Scatter* en cualquier foro disponible: entregas de premios, congresos nacionales, jornadas técnicas de radio, cursos de verano, ponencias universitarias y allí donde me lo pidieran.

Con los años, y debido también a las exigencias de mi propia profesión, asistí a cursos sobre técnicas comunicativas, cuyas herramientas aproveché para adaptarlas a las charlas de nuestra afición. Desde aquella primera experiencia en 1987, he realizado bastantes conferencias centradas en las técnicas de transmisión por *Meteor Scatter* y la observación de meteoros por radio. Poco a poco, la ansiedad inicial se transformó en seguridad, hasta el punto de llegar a disfrutar genuinamente de cada charla impartida. Aquel error de juventud se convirtió, sin saberlo, en el motor que me impulsaría a difundir esta pasión durante las siguientes décadas.

Siempre he sido de la firme opinión de que el

conocimiento debe compartirse, especialmente cuando se trata de una afición como la nuestra. Aquello que uno aprende a base de práctica y paciencia en el cuarto de radio puede resultar de una utilidad inestimable para quienes deciden dar sus primeros pasos en la modalidad.

Toda aquella labor de "arqueología informativa" acumulada durante años no podía quedarse encerrada en un solo cuarto de radio; tenía que servir como cimiento para ayudar a los demás. Por este motivo, además de las conferencias, me decidí a plasmar los conocimientos adquiridos de forma escrita a través de artículos técnicos.

Así, el 1 de diciembre de 1988, vio la luz mi primer artículo publicado en la revista CQ Radio Amateur, titulado significativamente: *«Todo sobre las Gemínidas»* En aquellas páginas se detallaba minuciosamente la evolución de dicha lluvia de meteoros para el año 1988 y, lo más importante, se ofrecían las pautas operativas esenciales para que cualquier aficionado pudiera utilizarlas con éxito para realizar comunicados en VHF a distancias superiores a los 1000 kilómetros.



BOIXAREU EDITORES S.A.

Gran Vía de las Corts Catalanas, 594, 3.º
Teléfono 318 00 79* - Telex 96560-BOIE E
08007 BARCELONA (España)

Barcelona, 30 de Diciembre de 1988

Sr. Enric Fraile
Frederic Corominas, 92
08629 Torrelles de Llobregat

Muy señor(es) nuestro(s) :

Adjunto nos es grato remitir talón número 04.985.941-2 de Banco de Europa por 3.465.-- pesetas, importe correspondiente a:

-- colaboración CQ núm. 60	3.850 Ptas.
10% retención IRPF	385 Ptas.
Total a su favor	3.465 Ptas.

Agradeciendo cumplimente(n) lo indicado al pie de la presente, aprovechamos esta oportunidad para saludarle(s) muy atentamente.

BANCO DE EUROPA 0133 0101
BARCELONA
OFICINA PRINCIPAL - Roselló, 214

PTAS //3.465.-//
PAGUESE A Sr. Enric Fraile
PESETAS Tres mil cuatrocientas sesenta y cinco.
BARCELONA treinta DE Diciembre DE 19 88
04.985.941-2

Ilustración 9. *Talón nunca fue cobrado*

Mi sorpresa fue mayúscula cuando, al poco tiempo de publicarse, recibí un talón nominativo por valor de 3.465 pesetas en concepto de remuneración por mi colaboración. Yo no esperaba absolutamente nada a cambio. Siempre he considerado que uno no debe lucrarse con lo que es una pasión compartida; si investigas y escribes, lo haces por el puro placer de cooperar y con la única finalidad de que alguien pueda aprovechar tus líneas. Para mí, ver a otro colega haciendo radio gracias a mis textos ya es la mayor de las recompensas. Como no podía ser de otra manera, ese talón jamás fue cobrado y aún hoy permanece en mi

posesión como un entrañable recuerdo de mis inicios en la literatura técnica.

Durante los años 1994, 1995 y 1996, la organización del prestigioso encuentro *UKW-Tagung* de Weinheim me invitó formalmente a realizar alguna ponencia en Alemania. Sin embargo, en aquel entonces no poseía la fluidez necesaria en lengua inglesa como para impartir una conferencia del nivel técnico que requería el evento. Fue la única vez en mi trayectoria que tuve que rechazar una propuesta de este tipo y, con el paso de los años, confieso que me he arrepentido profundamente de no haber dado aquel salto.

En el año 1992, fui uno de los miembros fundadores de la asociación GET (*Grup d'Estudis de Telecomunicacions*). El grupo estaba formado por un grupo de radioaficionados de la zona EA3 que compartíamos una misma inquietud: trabajar de forma activa en la investigación radioeléctrica y la electrónica, con la firme intención de promoverla de manera altruista.

Dentro de la asociación, nos distribuimos diferentes áreas de especialización según nuestras pasiones: radioastronomía, satélites, propagación troposférica, televisión de aficionado (ATV), comunicados por rebote lunar (EME) y, por supuesto, el *Meteor Scatter*, área de la que asumí la responsabilidad de forma natural. Como encargado de la

sección de reflexión meteórica del GET, me volqué en la divulgación de la modalidad. Para ello, preparé un boletín informativo impreso que enviábamos por correo postal a los aficionados españoles interesados, bautizado como *INFOGET*. El número 1 vio la luz en septiembre de 1995, coincidiendo intencionadamente con la predicción de la gran tormenta de las Leónidas que se esperaba para noviembre de aquel año. Junto al GET, realizamos numerosos actos de promoción y jornadas técnicas por todo el territorio catalán.

Ya en el año 1999, asumí la dirección de la sección dedicada al *Meteor Scatter* que se publicaba mensualmente en la revista oficial de la Unión de Radioaficionados Españoles (URE). En aquellas páginas trataba de dar a conocer el calendario de las lluvias, los procedimientos operativos adecuados y las noticias sobre expediciones en portable; en el fondo, un humilde preludio de lo que este libro pretende reflejar a gran escala. Desde entonces, han sido decenas los artículos publicados sobre esta materia en diversas revistas y boletines del sector.

No quiero terminar este primer capítulo introductorio sin rendir un sincero homenaje a todos los amigos y colegas que también disfrutaron y sufrieron con el *Meteor Scatter* en sus heroicos inicios analógicos. De forma muy especial,

mi recuerdo y gratitud van para aquellos maravillosos compañeros con los que formamos el Grup d'Estudis de Telecomunicacions, sin los cuales este viaje no habría sido el mismo: Jordi (EA3MD), Magí (EA3UM), Ramón (EA3AQJ), Josep Maria (EA3EHQ), Xavier (EA3DBQ), Josep Maria (EA3DXU) y Manel (EA3FLX). Gracias a todos ellos por compartir el camino.

Capítulo 2. La ciencia de meteoros:

Descubrimiento y evolución.

El descubrimiento de este fenómeno está perfectamente documentado en diversos textos de referencia. No es mi intención profundizar en exceso en la física pura, ya que este capítulo podría convertirse, por sí solo, en un libro independiente.

En algunas ocasiones, he escuchado en charlas de radioaficionados o he leído en ciertos artículos que nuestro colectivo fue el primero en descubrir el fenómeno, o bien que este se halló por pura casualidad durante la Segunda Guerra Mundial. Sin embargo, la realidad científica es otra. El doctor D.W.R. McKinley lo detalla magistralmente en su obra cumbre, *Meteor Science and Engineering*; un libro que, desde aquí, recomiendo encarecidamente y que considero que no debería faltar en la biblioteca de ningún verdadero entusiasta del *Meteor Scatter*.

Según expone Mckinley[11]:

> «*La radio ciencia apenas comenzaba a consolidarse como un valioso campo de investigación*

[11] **D.W.R, MCKINLEY**, *Meteor Science and Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1961

fundamental cuando Edward Appleton y M.A.F. Barnett (1925), en Inglaterra, junto a Gregory Breit y Merle Tuve (1926), en Estados Unidos, publicaron sus estudios pioneros sobre la reflexión de ondas de radio en las capas ionizadas de la atmósfera superior. La técnica de pulsos desarrollada por Breit y Tuve se convirtió en la piedra angular del radar moderno, el cual, en sus diversas evoluciones, nos ha proporcionado la mayor parte de nuestro conocimiento actual sobre los meteoros».

Entre los años 1920 y 1930, varios investigadores que estudiaban el comportamiento ionosférico detectaron unos ecos de radio nocturnos muy inusuales en la región E, ubicada aproximadamente a 100 km sobre la superficie terrestre. Las observaciones sugerían que la densidad de ionización de dicha capa aumentaba de forma repentina durante breves periodos de tiempo. Si bien se había demostrado previamente que la radiación solar explicaba el incremento normal de la ionización en la región E durante las horas diurnas, parecía del todo improbable que el Sol pudiera causar estos efectos anómalos en plena noche.

Debido a esto, Appleton (1930), en Inglaterra, concluyó que algún tipo de agente ionizante no identificado debía de estar actuando también en el lado oscuro de la Tierra,

mientras que Raymond Heising (1928), en los Estados Unidos, afirmó que estos efectos parecían ser causados por grandes masas de electrones lanzadas lateralmente hacia la atmósfera.

A partir de ahí, McKinley continúa con un relato fascinante sobre cómo, poco a poco, la comunidad científica descubrió que esta ionización intermitente era provocada por la fricción de los meteoroides al cruzar y ionizar la capa E a velocidades hipersónicas.

De forma esquemática, podemos resumir la evolución cronológica del descubrimiento y explotación de este fenómeno de la siguiente manera:

- **1928 – Raymond Heising:** Postula las primeras teorías sobre la existencia de regiones ionizadas de forma anómala en la atmósfera.
- **1931 – A.M. Skellett, J.P. Schafer y W.M. Goodall:** Detectan aumentos repentinos de señal en ondas decamétricas (HF) asociados al paso de meteoros.
- **1943 – E.W. Allen:** Registra las primeras observaciones formales de reflexión meteórica en ondas métricas (VHF) en los Estados Unidos.
- **1944 – James Stanley Hey:** Miembro del *Army Operational Research Group* (AORG) británico, detecta ecos meteóricos estables mientras operaba radares de defensa antiaérea.

- **1945 – J.S. Hey y G.S. Stewart:** Publican los primeros estudios sistemáticos de meteoros utilizando tecnología de radar postguerra.
- **1950 – P.A. Forsyth, D.R. Hansen y colaboradores:** Inician las investigaciones sobre la transmisión de información mediante ráfagas e impulsos meteóricos discontinuos.
- **1953 – El proyecto JANET:** Científicos del *Defense Research Board* de Canadá desarrollan el primer sistema experimental de comunicaciones bidireccionales vía meteórica.
- **1953 – El enlace del NBS:** El *National Bureau of Standards* de los Estados Unidos instala su primer enlace de radio dedicado a la investigación del rebote meteórico.
- **1960 – El sistema COMET:** Entra en servicio el primer sistema militar operativo de comunicaciones por dispersión meteórica en Europa, bajo el auspicio de la OTAN.
- **1964 – P. Bartholomé y I. Vogt:** Logran transmitir datos a una velocidad de 50 baudios a una distancia de 1000 km con tasas de error extremadamente bajas.
- **1975 – La red SNOTEL:** Se despliega en los Estados Unidos la primera gran red profesional automatizada de recepción de datos meteorológicos e hidrológicos a través de *Meteor Burst Communications*.
- **1988 – J.A. Weitzen y S. Ralston:** Publican los primeros modelos matemáticos avanzados que modelizan y postulan con precisión el comportamiento del circuito electromagnético meteórico.

Durante la década de 1980[12], las nuevas investigaciones sobre la dispersión meteórica como canal de comunicación, sumadas a la revolución de los microprocesadores, propiciaron el desarrollo de equipos industriales mucho más avanzados. Se implementaron redes con múltiples estaciones maestras interconectadas capaces de alcanzar coberturas intercontinentales, y se incorporaron técnicas de codificación y corrección de errores avanzadas en los terminales para exprimir al máximo el rendimiento en los canales de dispersión más débiles.

SNOTEL (SNOwpack TELemetry)

Quizás una de las redes más famosas del mundo que han utilizado el sistema de comunicación por ráfagas de meteoros (*Meteor Burst Communications*) sea SNOTEL. Instalada originalmente en 1978, esta red es operada y mantenida por el NRCS (*Natural Resources Conservation Service*). Está constituida por dos estaciones centrales, una en Boise (Idaho) y otra en Ogden (Utah), y por más de 500 estaciones remotas automatizadas e instaladas a lo largo de diez estados contiguos del oeste americano. Estas estaciones se alimentan íntegramente mediante energía solar y

[12] **DONALD L. SCHILLING**, *Meteor Burst Communications Theory and Practice*, John Wiley & Sons, INC. New York, 1993

aportan datos críticos en tiempo real sobre el nivel de nieve acumulada, la precipitación y la temperatura. El sistema se encuentra plenamente activo desde hace décadas, demostrando la altísima fiabilidad y robustez de la red. Como detalle técnico, las estaciones centrales transmiten simultáneamente en la misma frecuencia y reciben los datos en una segunda frecuencia de retorno.

Existen otros sistemas profesionales de gran envergadura que han explotado con éxito la tecnología *Meteor Burst Communications* en todo el mundo:

- **Alaska:** Utilizado para la monitorización remota de estaciones meteorológicas en condiciones climáticas extremas.
- **Egipto:** Desplegado para monitorizar telemétricamente el caudal y el nivel del río Nilo.
- **Canadá:** Redes dedicadas a la transferencia y monitorización de mensajería y datos gubernamentales.
- **República de China (Taiwán):** Empleado en la monitorización de cuencas hidrográficas y como red de mensajería de emergencia.
- **Indonesia:** Red de comunicaciones críticas y adquisición de datos en zonas insulares aisladas.
- **Argentina:** Sistema dedicado al monitoreo del nivel de nieve en la cordillera de los Andes

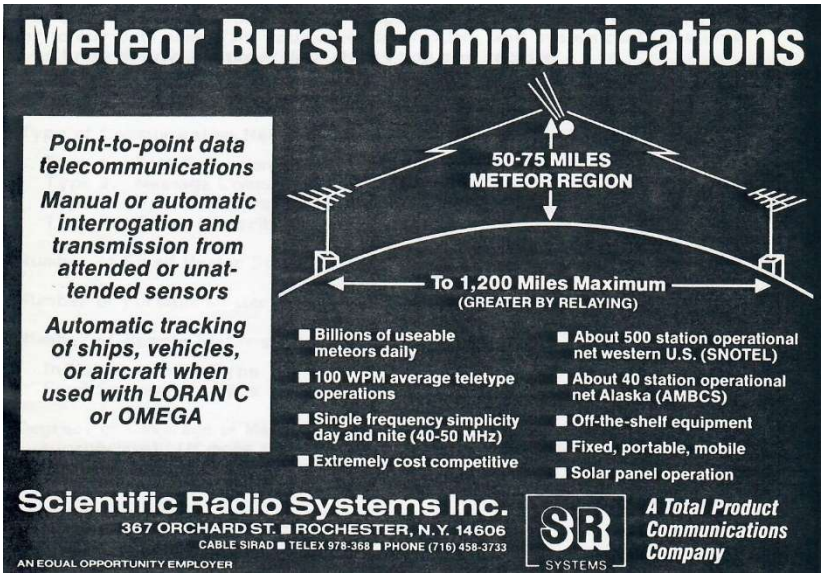


Ilustración 10. *Anuncio publicitario de una de las empresas pioneras en el sector del MBC.*

Durante una época dorada, esta modalidad de comunicación promovió una pujante industria tecnológica americana donde aparecieron empresas altamente especializadas. Quizás la más conocida a nivel mundial fue *Meteor Communications Corporation*. Incluso cerca del año 2002, en Europa y también en España, se instaló la empresa *Meteor Data Communication* (MDC) con la intención de explotar comercialmente un sistema de gestión y localización de flotas de transporte utilizando la técnica del *Meteor Scatter*, aunque lamentablemente la aventura empresarial no llegó a prosperar debido al empuje de los sistemas

satelitales y de la telefonía móvil.

A nivel de anécdota personal, recuerdo haber visto en aquella época un anuncio por televisión que decía textualmente:

> *«Pide tu deseo a una estrella fugaz y nosotros la buscaremos por ti para que se cumpla. Tus ilusiones viajarán a las estrellas: envía DESEO + [tu deseo] al 7777».*

Quizás algunos de los lectores recordéis este anuncio. Lo verdaderamente increíble de aquella campaña publicitaria es que, técnicamente, **era completamente cierto**. Tuve la oportunidad de visitar las instalaciones de aquella empresa, que tenía su sede en el Parque Tecnológico de Valencia. Allí pude ver en persona cómo recopilaban todos los mensajes de texto (SMS) recibidos a través del número corto 7777 y los enviaban a una estación de radio ubicada en Galicia. Esta estación se encargaba de transmitirlos directamente hacia el espacio en VHF aprovechando la llegada de las lluvias de meteoros, por lo que, de una forma estrictamente física, miles de españoles enviaron realmente sus deseos a través del rastro de una estrella fugaz.

Astronomía por Radar

Los estudios[13] realizados mediante técnicas de radar demostraron en su día que todos los meteoros describen órbitas elípticas alrededor del Sol y que ninguno de ellos es un visitante procedente del espacio interestelar. Asimismo, se determinó que la velocidad máxima de entrada de un meteoro en nuestra atmósfera es de 72 km/s.

A estas alturas, supongo que os habréis dado cuenta de que en el texto siempre nos referimos a ellos como «meteoros» y nunca como «meteoritos». En el lenguaje coloquial e incluso en algunos artículos de radioafición es muy popular hablar de *«comunicaciones por meteoritos»* o de *«lluvias de meteoritos»*; sin embargo, técnicamente esto es un error.

Para aclarar conceptos, la Unión Astronómica Internacional (IAU) define estos términos con precisión quirúrgica:

Meteoroide: Es cualquier objeto natural sólido cuyo tamaño aproximado oscila entre los 30 micrómetros y el metro de diámetro, y que viaja por el espacio interplanetario.

Meteoro: Es el fenómeno luminoso y visual generado en

---

[13] **Alex G Smith y Tomas D. Carr**, *Radioexploración del Sistema Planetario*, Editorial Reverte Mexicana S.A., 1968

la atmósfera superior cuando un meteoroide u otro cuerpo sólido entra a gran velocidad y se desintegra debido al violento calentamiento aerodinámico.

Meteorito Es estrictamente aquel objeto sólido que sobrevive a su abrasivo paso por la atmósfera y logra impactar contra la superficie de la Tierra

En resumen: si un meteoroide que viaja por el espacio es atraído por la gravedad terrestre e ingresa en la atmósfera, su fricción genera un meteoro (la estrella fugaz que ioniza el medio); si finalmente no se desintegra del todo y sus restos golpean el suelo, entonces pasa a ser un meteorito.

Gracias al radar, se han realizado determinaciones muy precisas sobre la distribución del promedio de masa de los meteoros esporádicos, que abarca desde los 0,001 mg hasta los 100 mg. La tasa de incidencia para la Tierra completa aumenta exponencialmente a medida que disminuye el tamaño del objeto: pasa de 10^6 (un millón) de meteoros por día con masas de entre 100 mg y 10 mg, hasta la asombrosa cifra de 6,5 x 10^{10} (sesenta y cinco mil millones) de meteoros diarios con masas diminutas de entre 0,01 mg y 0,001 mg.

Cada día entran en la atmósfera aproximadamente 50 kg de meteoros esporádicos por cada intervalo de masa de 10 mg. Si excluimos los meteoritos (los fragmentos que

tocan suelo), la masa total neta de los meteoros esporádicos que se desintegran diariamente en la atmósfera se aproxima a los 750 kg. Por su parte, la masa total acumulada de los meteoritos que alcanzan la superficie terrestre de forma diaria es de aproximadamente **550 kg**.

El estudio de los meteoros por medio del radar ha contribuido enormemente a nuestro conocimiento de la alta atmósfera. Las alturas a las cuales se observan y registran estas estelas ionizadas varían desde los 60 km hasta los 120 km de altitud. Las presiones atmosféricas y las velocidades de recombinación iónica en esta franja tan concreta se pueden calcular con precisión matemática a partir de las mediciones del eco reflejado. Incluso se pueden medir las velocidades y cizalladuras del viento en la alta atmósfera analizando el arrastre y la deriva física que sufren las estelas meteóricas tras el impacto.

Con el tiempo, la industria de la radioastronomía ha fabricado radares interferométricos de meteoros como un instrumento científico avanzado, utilizado tanto para observar los enjambres meteóricos como para monitorizar objetos artificiales (basura espacial o satélites) que reentran en la atmósfera terrestre. Actualmente existen decenas de estos sofisticados equipos instalados de forma permanente en centros científicos de todo el mundo.

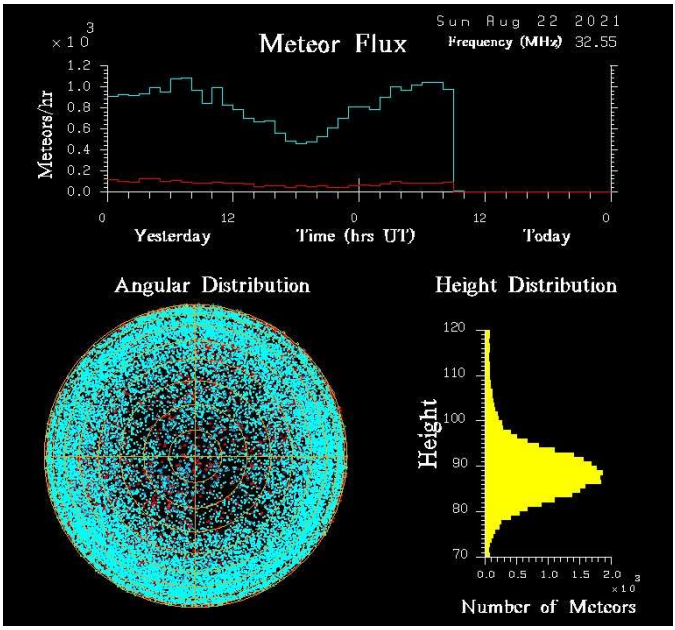


Ilustración 11. *Datos obtenidos por un SKiYMET meteor radar.*

El funcionamiento básico de estos sistemas es fascinante[14]: cuando un meteoro entra en la atmósfera, se vaporiza rápidamente debido a la fricción, dejando tras de sí una estela de gas ionizado térmicamente a lo largo de su trayectoria. Esta estela, de muy corta duración, actúa como un espejo reflector ideal para las ondas de radio. El radar terrestre transmite un breve pulso de energía

[14] Explicación extraída de la página web de Software Génesis, fabricante de los radares SKiYMET, https://www.gsoft.com.au/productsandservices/radarsystems

electromagnética desde una antena emisora en la banda de VHF (generalmente en frecuencias bajas entre 30 y 50 MHz).

Parte de esta energía transmitida choca contra la estela del meteoro, se refleja hacia la Tierra y es captada por un conjunto de antenas receptoras dispuestas en fase (*array*), registrándose minuciosamente todas sus características. Posteriormente, se realizan diversos cálculos matemáticos y de desfase sobre los ecos detectados. Los resultados proporcionan información crítica sobre la naturaleza del meteoro, determinando su velocidad de entrada, su masa estimada y la órbita heliocéntrica original del meteoroide.

Además, dado que la estela formada es desplazada (advectada) por el viento atmosférico eléctricamente neutro de la mesosfera y la baja termosfera, observar cómo se deforma y se desplaza dicha estela a lo largo de los milisegundos permite deducir la velocidad y la dirección exacta del viento a esa altitud tan inaccesible para los globos sonda meteorológicos. Los instrumentos detectan un número tan elevado de ecos de meteoros a lo largo del día que son capaces de trazar una imagen dinámica y completa del mapa de vientos de la alta atmósfera en tiempo real.

La única iniciativa puramente amateur de la que tengo constancia histórica orientada al estudio sistemático de meteoros por técnicas de radar es la desarrollada por el ingeniero y radioaficionado sudafricano **John Fielding (ZS5JF)**. En su obra técnica especializada[15], Fielding describe minuciosamente cómo modificar parte de los equipos comerciales de radioaficionado convencionales y cómo diseñar y construir nuevos módulos de recepción a medida para alcanzar este complejo fin científico.

Su proyecto original pretendía realizar un estudio exhaustivo en la banda de 6 metros (50 MHz) para, posteriormente, ampliar el radio de acción hacia las bandas de 4 metros (70 MHz) y 2 metros (144 MHz). El objetivo final de su investigación era contar con dos sistemas de radar completos funcionando de forma simultánea y en paralelo, lo que permitiría evaluar y comparar las reflexiones meteóricas en dos frecuencias muy separadas del espectro electromagnético e intentar correlacionar matemáticamente los resultados obtenidos.

Si algún lector entusiasta se siente con fuerzas y desea animarse a explorar esta vertiente técnica tan avanzada, le

---

[15] **JOHN FIELDING, ZS5JF**, *Amateur Radio Astronomy*, Radio Society of Great Britain (RSGB), 2006

recomiendo encarecidamente consultar la excelente y rigurosa obra escrita por John Fielding.

Propiedades físicas de los Meteoroides

La Tierra[16] en su órbita elíptica alrededor del Sol, interacciona constantemente con un complejo sistema de meteoroides que también orbitan alrededor de nuestra estrella heliocéntrica. Estos meteoroides se dividen estrictamente en dos grandes categorías: los esporádicos y las corrientes o enjambres de meteoroides.

Las corrientes de meteoroides viajan en órbitas solares confinadas y estables que cruzan la órbita de la Tierra en momentos perfectamente predecibles del año. Estas corrientes se convierten en corrientes o lluvias de meteoros cuando los fragmentos ingresan en la atmósfera terrestre. Astronómicamente, se localizan en la bóveda celeste mediante su radiante, que es el punto geométrico del cielo desde el cual parecen originarse y divergir todos los meteoros pertenecientes a ese enjambre específico.

Se han catalogado minuciosamente las órbitas de cientos de lluvias de meteoros, tanto mayores como menores, así

---

[16] **DONAL L. SCHILING**, *Meteor Burts Communications*, Canadá, John Wilwy & Sons, Inc, 1993

como sus respectivos radiantes, tasas estimadas de llegada, velocidades de entrada y duraciones observadas. Las lluvias de meteoros mayores —aquellas capaces de producir entre 20 y 50 meteoros por hora visibles a simple vista y que se repiten cíclicamente durante breves períodos de tiempo (que oscilan entre unas horas y varios días) cada año— se han denominado formalmente lluvias «permanentes». Ejemplos icónicos de estas lluvias anuales son las Perseidas en el mes de agosto (con un pico máximo de actividad situado alrededor del 12 de agosto) o las Gemínidas en diciembre (cuyo pico se registra sobre el 14 de diciembre).

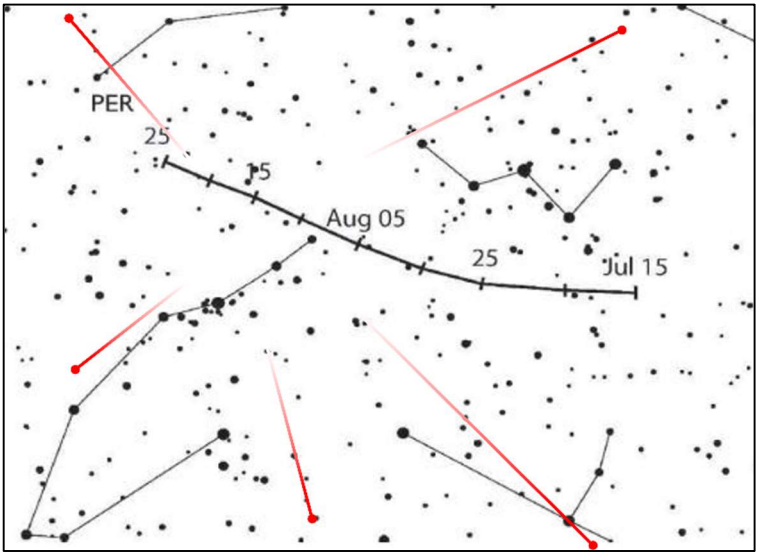


Ilustración 12. *Representación gráfica del radiante de las Perseidas*

Sin lugar a duda, los mayores éxitos en las comunicaciones por *Meteor Scatter* se obtendrán siempre coincidiendo con los picos máximos de actividad de estas grandes lluvias. Actualmente existen más de 2000 lluvias catalogadas y en constante estudio que se pueden consultar detalladamente en las plataformas web de las principales sociedades científicas, tales como SOMYCE (Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España) o la IMO (*International Meteor Organization*).

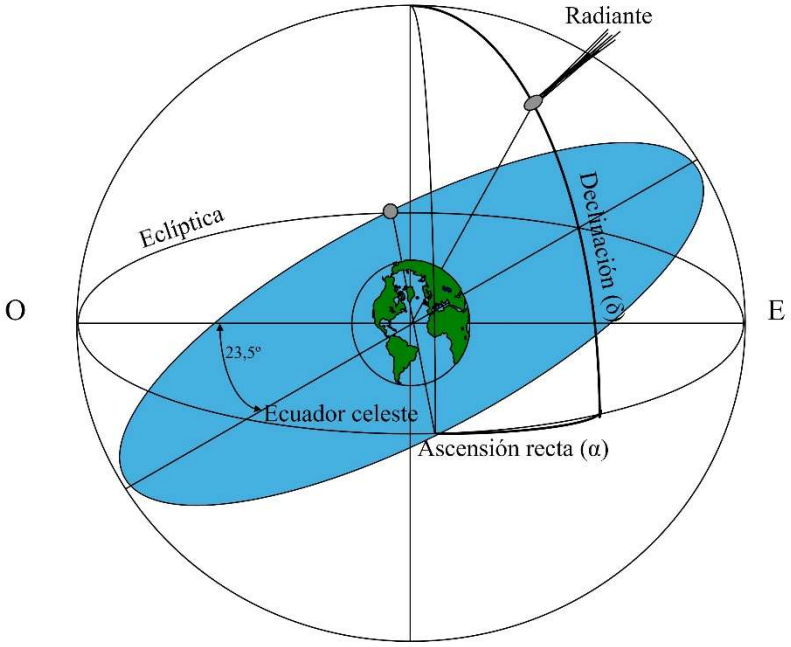


Ilustración 13, *Localización de un radiante respecto a la posición de un observador*

Por otra parte, los meteoroides[17] esporádicos son partículas aisladas que se mueven en órbitas completamente aleatorias alrededor del Sol y que, paradójicamente, representan la gran mayoría de los meteoros que se aprovechan diariamente para hacer radio en *Meteor Scatter*. Sus radiantes y momentos de entrada son impredecibles y no se pueden catalogar individualmente como los meteoros de lluvia. Sin embargo, la ciencia ha demostrado que no están distribuidos de forma uniforme en el espacio interestelar profundo, sino que se concentran mayoritariamente en una franja situada a unos 20 grados respecto al plano de la eclíptica (el plano geométrico que contiene la órbita de la Tierra alrededor del Sol).

Además, las intersecciones de las órbitas de los meteoros con la órbita terrestre no están distribuidas de manera uniforme a lo largo del año, sino que se concentran de tal forma que se produce un máximo de entradas en la atmósfera entre los meses de junio y septiembre, y un mínimo entre enero y marzo, con una relación de variación de aproximadamente 3:1. Asimismo, el grado de incidencia de los meteoros esporádicos depende en gran medida de la hora del día, siendo notablemente mayor durante las

[17] **Thomas G. Domich**, *Theoretical and design aspects for a Meteor Burts Communication System*, Manual de Trafico Ingeniería, S.A.

horas de la mañana, con una fluctuación diaria que puede alcanzar una proporción de 4:1.

METEOROS ESPORADICOS		Masa (gr.)	Radio (cm)	Número caída diario	Densidad elect./metro
Partículas que llegan a impactar en el suelo		10^{4}	8	10	
Partículas que llegan a desintegrarse al penetrar en la atmósfera	Superdensos (visibles)	10^{3} 10^{2} 10 1 10^{-4} 10^{-2}	4 2 .8 .4 .2 .08	10^{2} 10^{3} 10^{4} 10^{5} 10^{6} 10^{7}	 10^{18} 10^{17} 10^{16} 10^{15}
	Subdensos (No visibles)	1^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7}	.04 .02 .008 .004 .002	10^{8} 10^{9} 10^{10} 10^{11} 10^{12}	10^{14} 10^{13} 10^{12} 10^{11} 10^{10}
Partículas que no pueden detectarse por radio		10^{-8} a 10^{-13}	.004 a .0002	cerca de: 10^{20}	Prácticamente ninguna

Ilustración 14. *Características de los meteoros esporádicos*

Estos meteoroides, al entrar en contacto con las partículas de la alta atmósfera, convierten la brutal energía cinética de su movimiento en calor, vaporizando los átomos que componen el cuerpo del meteoro. La masa, el tamaño, la forma y la velocidad del objeto, combinados con la densidad atmosférica local, producen columnas ionizadas que alcanzan una longitud media de 25 km y un radio inicial de apenas 1 metro. Estas trazas se sitúan a una altitud

comprendida entre los 80 y los 100 km de altura, coincidiendo con la capa E de la ionosfera, y son las responsables directas de provocar la reflexión y dispersión de las ondas de radio en la banda de VHF.

En función de la densidad de electrones libres por unidad de longitud presentes en la estela, las columnas ionizadas se clasifican científicamente en dos tipos:

- **columnas subdensas (o baja densidad, $q<10^{14}$ electrones /metro):** Son causadas por meteoroides pequeños y más lentos. Son, con diferencia, las más comunes en el flujo de meteoros esporádicos diarios.
- **Estelas superdensas (o alta densidad, $q>10^{14}$ electrones/metro):** Están causadas por cuerpos más grandes y rápidos, y suelen estar asociadas a los máximos de las lluvias permanentes más importantes.

Hasta el año 1999, en el argot de la radioafición de VHF se hablaba habitualmente de *«pings»* cuando se captaba una reflexión muy corta que apenas aportaba información elemental, y de *«bursts»* cuando la reflexión era más larga y permitía extraer datos completos del comunicado. Sin embargo, en septiembre de 1999, durante la reunión internacional de la IARU Región 1, se unificaron criterios y se estableció formalmente que la duración máxima de un *«ping»* (asociado a una reflexión de naturaleza subdensa)

sería de:

- **1000 ms** en la banda de 50 MHz (6 metros).
- **500 ms** en la banda de 70 MHz (4 metros).
- **100 ms** en la banda de 144 MHz (2 metros).
- **13 ms** en la banda de 432 MHz (70 centímetros).

Todas aquellas reflexiones cuyas señales superaran estas duraciones de corte pasarían a contemplarse oficialmente como *«bursts»* (asociados a reflexiones superdensas). Aunque la frontera de esta clasificación en la práctica no siempre es milimétrica, la duración máxima teórica de una reflexión de tipo subdensa se puede calcular mediante la siguiente fórmula matemática de propagación:

$$t = \left[\frac{300}{f}\right]^2 \Big/ 36$$

Donde ***t*** representa la duración en segundos y ***f*** es la frecuencia de trabajo expresada en MHz.

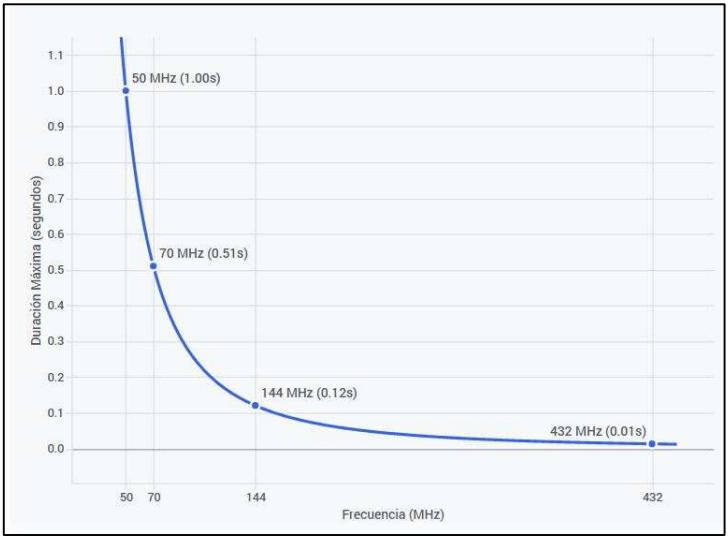


Ilustración 15. *Duración máxima teórica de una reflexión subdensa en función de la frecuencia de trabajo.*

Como se puede apreciar con total claridad en la gráfica de la ilustración 15, el tiempo de duración del eco disminuye de forma drástica a medida que incrementamos la frecuencia de operación, siguiendo un comportamiento inversamente proporcional marcado por la constante de difusión de la alta atmósfera.

Características de las señales reflejadas

Hemos visto que una de las formas más eficientes de

detectar los meteoros es utilizando tecnología de radar.[18] En este sentido, conviene aclarar que la diferencia fundamental entre un radar monoestático y uno biestático radica exclusivamente en la ubicación de las antenas de transmisión y recepción. En un radar monoestático, ambas se encuentran en el mismo emplazamiento físico y, por lo general, se utiliza la misma antena para transmitir y recibir de forma alternada. En cambio, en un radar biestático, las antenas de transmisión y recepción están separadas físicamente, pudiendo encontrarse a una distancia muy considerable la una de la otra.

El *Meteor Scatter* practicado por los radioaficionados no deja de ser, en esencia, un sistema de radar biestático donde la estación transmisora y la estación receptora se encuentran separadas a una distancia geográfica que oscila habitualmente entre los 800 y los 2200 km.

Seguro que también habréis escuchado en alguna ocasión el término *Forward Scatter* (dispersión hacia adelante). Pues bien, este concepto no es más que un sistema de radar biestático que utiliza un receptor de radio para detectar señales electromagnéticas que provienen de un

[18] **G. RICHARD CURRY**, *Radar System Performance Modeling*, Artech House, Norwood, 2004

transmisor distante que se encuentra mucho más allá de la línea de visión directa o del horizonte óptico.

Cuando un meteoroide entra en la atmósfera a velocidades hipersónicas, crea una estela cilíndrica ionizada capaz de reflejar las ondas de radio. Si el transmisor y el receptor están alineados geométricamente de manera que sea posible una dispersión coherente, el receptor en tierra podrá detectar un aumento repentino de la señal reflejada en dicha estela.

Para establecer con éxito un canal de comunicaciones por dispersión meteórica, la física de propagación nos exige que se cumplan estrictamente dos condiciones geométricas[19]:

1. **Condición de tangencialidad**: La línea que define el eje longitudinal de la traza ionizada del meteoro debe ser obligatoriamente tangente a un elipsoide de revolución ideal, cuyos focos geométricos son, precisamente, las ubicaciones del transmisor y del receptor en la superficie terrestre. Esta geometría puede representarse vectorialmente como una línea en el espacio y un

[19] **DONAL L. SCHILLING**, *Meteor Burts Communications*, Canada, John Wilwy & Sons, Inc, 1993

Par de puntos fijos en tierra.

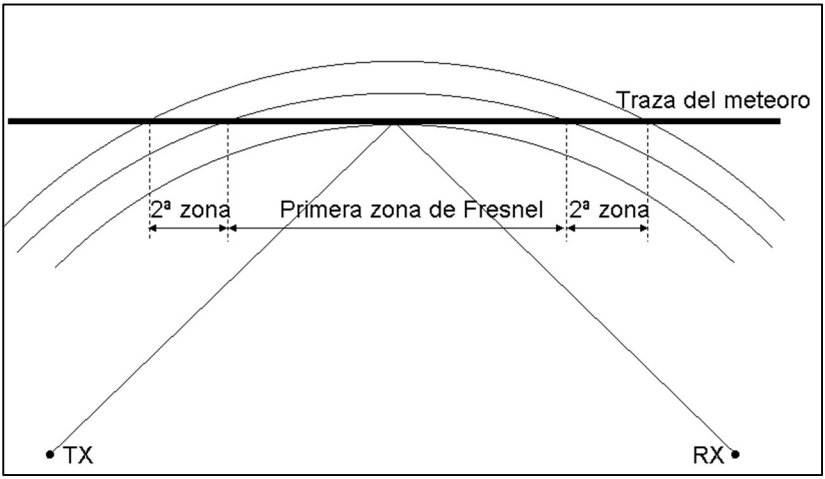


Ilustración 16. *Zonas de Fresnel en una geometría de reflexión de meteoros.*

2. **Condición de Fresnel:** La segunda condición requerida (y la más crítica en la práctica) determina que en dicho punto tangencial debe existir la máxima ionización posible, y esta se concentra en la denominada **primera zona de Fresnel.** Es decir, la máxima intensidad de la señal recibida se produce única y exclusivamente cuando la traza del meteoro atraviesa por completo esta zona central de Fresnel.

Cada zona de Fresnel sucesiva, que se encuentra desfasada respecto al punto tangencial, contribuye de forma constructiva o destructiva a la intensidad final de la señal. Toda la dispersión de onda que coincide con la primera zona suma en fase (contribución constructiva); la que coincide

con la segunda zona resta en fase (contribución destructiva); la tercera vuelve a sumar, y así sucesivamente.

Como puede apreciarse en la ilustración 16, la longitud física de la primera zona de Fresnel es notablemente mayor que la de las zonas periféricas. Esta región constituye la zona primaria o principal. Por tanto, las reflexiones que ocurren específicamente en esta región central son las máximas responsables del aumento drástico de la intensidad de la señal (*burst*) que llega a nuestros receptores.

La longitud real de las zonas de Fresnel depende intrínsecamente de la frecuencia de trabajo, y esta es la razón científica por la cual las comunicaciones en *Meteor Scatter* son tan sumamente dependientes de la banda elegida. Al incrementar la frecuencia (por ejemplo, al pasar de 50 MHz a 144 MHz), las zonas de Fresnel decrecen en longitud, correspondiéndoles áreas de reflexión física mucho más pequeñas y críticas.

La longitud total de un número «n» de regiones de Fresnel está en función directa de la geometría del enlace, la orientación tridimensional de la traza y la longitud de onda utilizada. Esta relación matemática fue expresada originalmente por George Sugar en sus estudios de propagación de la siguiente manera:

$$F_{n=[n^{0.5}-(n-1)^{0.5}]}\left[\frac{\lambda \times R_R \times R_T}{(R_R + R_F)(1 - sin^2\theta \times cos^2\beta)}\right]^{0.5}$$

λ *longitud de onda en (m)*

R_T *distancia del transmisor hasta la traza ionizada en (m)*

R_R *distancia del receptor hasta la traza ionizada en (m)*

θ *ángulo propagación formado por los vectores R_T y R_R*

β *ángulo de la traza relativo al plano formado por R_T y R_R*

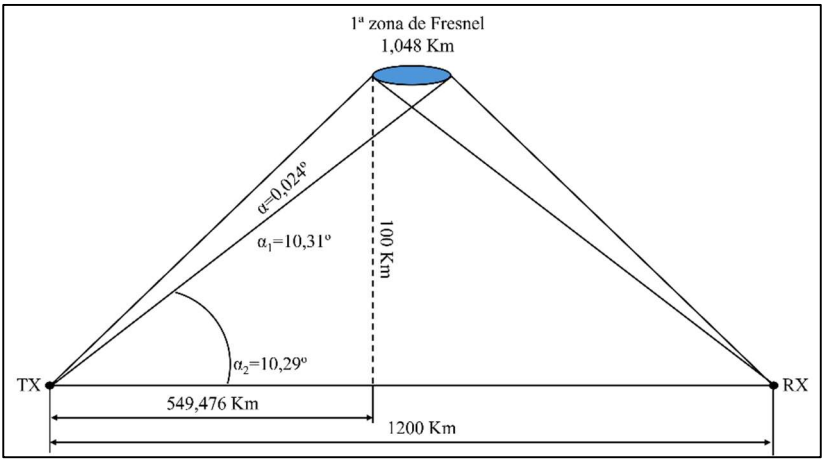


Ilustración 17. *Ángulo necesario para iluminar la 1ª zona de Fresnel.*

Si partimos de la hipótesis de un comunicado estándar a una distancia de 1100 km, podemos calcular mediante trigonometría el resto de los parámetros espaciales. Al sustituirlos en la fórmula de Sugar, encontramos que la primera

zona de Fresnel para esta distancia concreta y en la frecuencia de 144 MHz tiene una longitud física de, aproximadamente, algo más de 1 km.

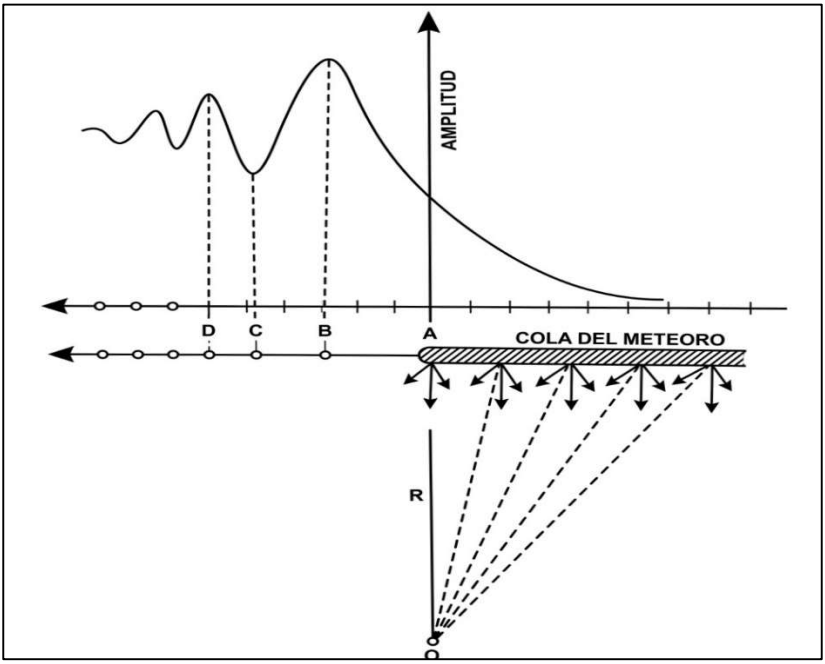


Ilustración 18. *Variación de nivel de señal de una reflexión Meteor Scatter.*

La difracción de las ondas de radio sobre una estela fuertemente ionizada por el paso de un meteoro produce unos máximos y unos mínimos de señal característicos que se corresponden con la entrada en las diferentes zonas de Fresnel.

Tal y como se observa en la ilustración 18, la estela [20] meteórica crece hacia la izquierda a medida que el meteoro avanza a gran velocidad. La gráfica superior de la figura muestra cómo varía la amplitud resultante de la señal recibida en la antena en función de la extensión de la estela. La amplitud aumenta de forma drástica hasta que la cabeza de la columna alcanza el punto B. Sin embargo, entre los puntos B y C la amplitud decrece, ya que las nuevas componentes de la onda procedentes de las fuentes puntuales que se añaden más allá de B llegan desfasadas respecto a la resultante de todas las fuentes anteriores a B (interferencia destructiva). A medida que la cabeza de la columna se desplaza, las distancias físicas se incrementan sucesivamente en media longitud de onda.

A partir de estos datos cinéticos, es posible calcular la velocidad de la cabeza de la columna ionizada y, en consecuencia, la velocidad real de entrada del meteoro, la cual viene dada por la siguiente expresión:

$$V = \frac{0.3\sqrt{\lambda R}}{t}$$

Donde ***t*** es el tiempo transcurrido entre la ocurrencia del

[20] **ALEX G. SMITH Y TOMAS D. CARR**, *Radioexploración del Sistema Planetario*, Reverte, México, 1968

primer máximo y mínimo, ***R*** es la distancia perpendicular desde la estación a la estela del meteoro y **λ** representa la longitud de onda.

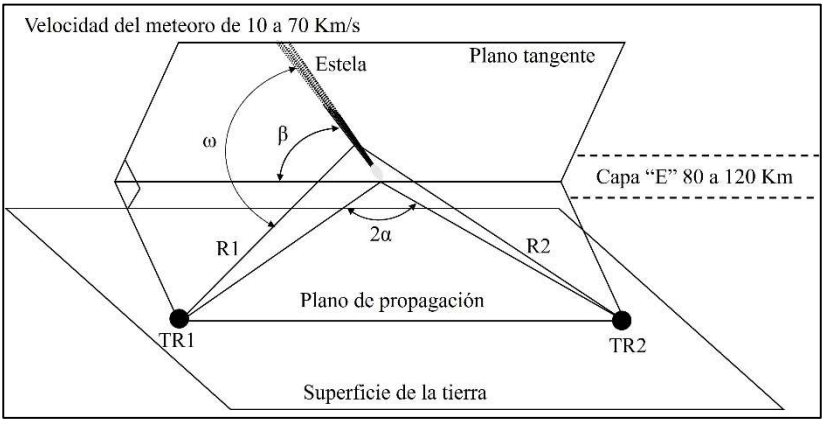


Ilustración 19. Geometría de una traza meteórica

En la práctica, existen más de 25 factores variables que influyen de forma directa en el nivel final de la señal recibida en nuestros equipos. Entre ellos destacan la frecuencia utilizada, el viento mesosférico en la zona de ionización, el ángulo de incidencia, la distancia ortodrómica entre ambas estaciones, la configuración y altura de las antenas, la potencia de emisión empleada, la altitud exacta de la ionización, la rotación de Faraday, así como la velocidad, la masa, la densidad, la composición química y la geometría tridimensional de la traza. A pesar de esta enorme complejidad, los científicos han logrado modelizar con éxito el canal de comunicaciones por *Meteor Scatter*.

La potencia en recibida ($P_R(t)$) a través de las reflexiones en estelas subdensas (los denominados *«pings»*) viene dada por la clásica ecuación de D.W.R. McKinley:

$$P_R = 5\,x\;10^{-32}\,\frac{Pt\;Gt\;Gr\;\lambda^3 q^2\;sen^2\Upsilon}{(R_T R_R)(R_T + R_R)(1 - \;sen^2\emptyset\;cos^2\,\beta)}$$

λ	*longitud de onda en (m)*
P_T	*potencia del transmisor (W)*
P_R	*potencia disponible en la antena receptora (W)*
G_R	*ganancia de la antena receptora relativa a una antena isotrópica (dBi)*
G_T	*ganancia de la antena transmisora relativa a una antena isotrópica (dBi)*
R_T	*distancia del transmisor a la traza en (m)*
R_R	*distancia del receptor a la traza en (m)*
q	*densidad línea de electrones (electrones/metro)*
θ	*ángulo propagación formado por los vectores RT y RR*
β	*ángulo de la traza relativo al plano formado por RT y RR*
Υ	*ángulo entre el vector del campo eléctrico incidente y la dirección hacia donde se propaga la onda dispersada.*

A simple vista, en la fórmula matemática se aprecia que el nivel de señal recibido por reflexiones subdensas es directamente proporcional a la potencia transmitida y a la ganancia de los sistemas radiantes. La siguiente tabla

contempla diferentes niveles teóricos de recepción para diversas configuraciones de una estación en la banda de 144 MHz (estimando una densidad media q fija de 10^{12} electrones/metro):

G_T (dBi)	G_R (dBi)	P_T (W)	$P_R(t)$ (dBm)	Incremento (dB)
14.5	14.5	150	-161.67	0
17.50	14.5	150	-158.67	+3
14.5	14.5	300	-158.66	+3
20.50	14.5	150	-155.67	+6
14.5	14.5	600	-155.67	+6

Es importante subrayar que estos valores de $P_R(t)$ tienen un carácter puramente relativo y no representan una lectura real absoluta en el receptor.

Al analizar matemáticamente los datos, comprobamos un hecho físico incontestable: **da exactamente el mismo resultado aumentar 3 dB en la ganancia de la antena transmisora que incrementar la potencia de emisión en esos mismos 3 dB.** Los números no varían (como era de esperar), pero la pregunta que debe hacerse el operador es inmediata: ¿qué resulta más sencillo y viable en la

práctica? ¿Aumentar el tamaño físico de los sistemas radiantes, con la enorme complicación mecánica que conlleva y la consiguiente pérdida de la anchura del lóbulo a la mitad, o simplemente elevar la potencia del amplificador lineal desde la comodidad del cuarto de radio?

La intención de este análisis no es obtener el valor exacto en dBm de la señal recibida en un comunicado real, sino demostrar visualmente cómo es muchísimo más eficiente, seguro y determinante para el radioaficionado aumentar la potencia de transmisión de la estación que la ganancia física de la antena de emisión.

Si quisiéramos calcular el nivel exacto y milimétrico de la señal recibida, tendríamos que incluir de forma dinámica el factor de acoplo por polarización variable, la densidad exacta de electrones de la traza subdensa real y, por supuesto, la superficie matemática de reflexión y los factores de pérdidas asociados al radio inicial del canal, la difusión térmica de la estela y la absorción de la baja ionosfera. En definitiva, un cálculo sumamente complejo cuyos detalles matemáticos están reservados exclusivamente para los científicos del campo de la alta ingeniería de telecomunicación.

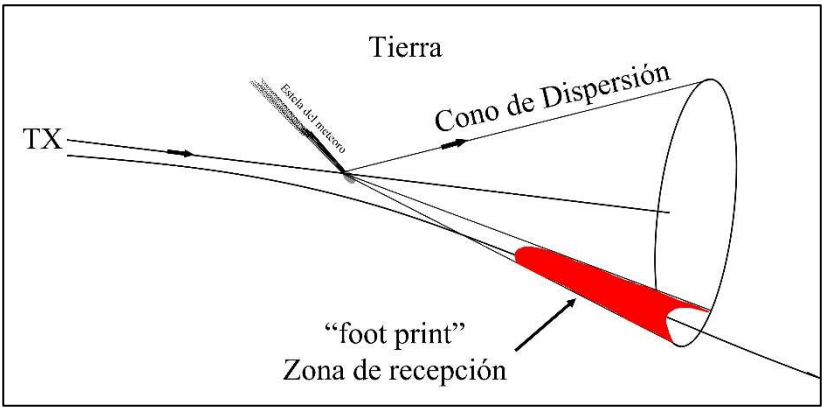


***Ilustración 20**. zona de recepción "foot print"*

Esta señal reflejada en una estela ionizada produce una reflexión de carácter puramente especular (en forma de espejo) y genera una zona específica de recepción sobre la superficie terrestre, conocida internacionalmente en el argot técnico como la huella de cobertura o *«footprint»*. La característica típica de una reflexión producida por el paso de un meteoro consiste en un aumento fulminante del nivel de señal en cuestión de microsegundos, alcanzando un valor máximo para, posteriormente, experimentar una atenuación progresiva. La duración total del eco varía desde unos pocos milisegundos en trazas subdensas hasta varios segundos en el caso de las estelas superdensas.

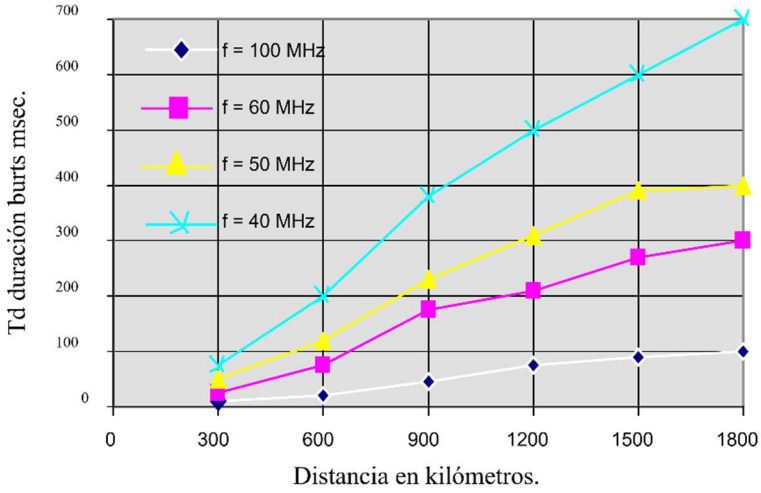


Ilustración 21. *Frecuencias optimas*

El segmento de radio comprendido estrictamente entre los 40 y los 100 MHz se muestra como el más idóneo para el desarrollo profesional de este tipo de comunicación. Aunque también se pueden realizar comunicados por debajo de los 40 MHz (en las bandas altas de HF), a esas frecuencias la propia ionosfera es capaz de reflejar las señales por propagación regular elíptica o esporádica, independientemente de que existan o no trazas ionizadas por meteoros.

Es por este motivo que, para mí, **la banda reina para el *Meteor Scatter* amateur son los 144 MHz**. En los 2 metros, esta modalidad se convierte en una vía fascinante para conseguir comunicados a grandes distancias que, de otro modo, solo se podrían lograr si se tiene la inmensa

fortuna de aprovechar alguna de las escasas y deseadas aperturas de esporádica E. Aunque las reflexiones son notablemente más largas, estables y fuertes en las bandas de 50 MHz (6 metros) o 70 MHz (4 metros), en ellas no suele haber tantos adeptos debido a que las distancias máximas que se obtienen por *Meteor Scatter* son superadas con creces y de forma diaria por otros modos de propagación mucho más comunes en esas frecuencias.

En la ilustración 21 se presentan las curvas de la pérdida básica de transmisión para estelas subdensas con una densidad fija de $q=10^{14}$ electrones/metro y polarización horizontal. Estas curvas han sido calculadas para los dos extremos geométricos que puede adoptar el ángulo β estelas perpendiculares al plano de propagación β=90), representada mediante línea continua) y estelas situadas exactamente en el plano de propagación β=0), representada mediante línea discontinua). En la gráfica se observa con total claridad la ventaja de trabajar con una pérdida de propagación mucho menor a medida que se utilizan frecuencias más bajas.

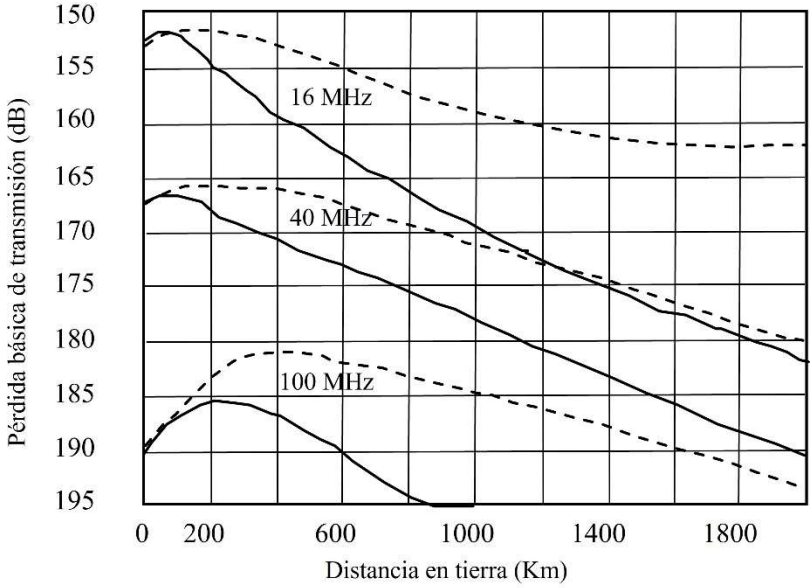


***Ilustración 22**. Perdida básica de transmisión a diferentes frecuencias*

Espero que, tras la lectura de este capítulo, el lector se haya formado una idea clara y rigurosa del proceso físico mediante el cual los meteoros ionizan la alta atmósfera y cómo nuestras señales de radio se reflejan en esas trazas efímeras, proporcionándonos una ventana de comunicación tan tecnológicamente segura como divertida.

Capítulo 3. Procedimiento operativo.

Introducción

Las normas en la sociedad sirven para aprender a convivir desde el respeto y la armonía, sustentándose siempre en acciones justas. Cuando estas se rompen, causan un inevitable desequilibrio y malestar social. Lo mismo ocurre exactamente en el mundo de la radioafición: disponemos de unas normas de convivencia colectiva que, lamentablemente, no todos los operadores conocen o respetan. Por ello, considero vital que quienes compartimos esta afición conozcamos en profundidad las directrices que se han diseñado para su correcto funcionamiento.

En este capítulo reproduciremos de forma adaptada el **apartado 17.5 del *VHF Handbook* (versión 10.03)**, titulado *«Procedimientos Operativos para QSOs en Meteor Scatter»* y publicado oficialmente por la IARU Región 1. Recomiendo encarecidamente al lector que revise periódicamente las nuevas versiones que la IARU publica de este manual, por si se hubiera modificado o incorporado algún procedimiento, ya que con el imparable avance de la tecnología las normativas se van adaptando paulatinamente a los nuevos tiempos.

El objetivo principal de los procedimientos descritos a

continuación es permitir el establecimiento de contactos válidos mediante la reflexión por dispersión meteórica (*Meteor Scatter*) de la manera más rápida, eficiente y sencilla posible. El *Meteor Scatter* difiere notablemente de la mayoría de los demás modos de propagación en VHF, ya que ninguna de las dos estaciones implicadas es capaz de escuchar a la otra hasta que se forma una estela meteórica ionizada que sea físicamente capaz de dispersar o reflejar las ondas electromagnéticas.

Dado que estas reflexiones (*bursts* o *pings*) suelen ser de muy corta duración, los procedimientos habituales de QSO que utilizamos en fonía o telegrafía convencional no resultan aplicables en la práctica. Por este motivo, es estrictamente necesario emplear técnicas operativas especializadas para garantizar la recepción de la mayor cantidad posible de información correcta, inequívoca y libre de errores. Ambas estaciones deben turnarse rigurosamente para transmitir y recibir siguiendo un formato de tiempos definido y los procedimientos detallados a continuación.

Es cierto que algunas lluvias de meteoros permanentes son lo suficientemente intensas como para hacer innecesarias ciertas medidas estrictas; no obstante, para fomentar el máximo aprovechamiento de todos los enjambres esporádicos o menores habitualmente registrados, no hay razón

alguna para no aplicar siempre los procedimientos sugeridos. Al igual que ocurre con la operativa de radio en general, la principal ventaja de las normas para *Meteor Scatter* radica en que están completamente estandarizadas y son ampliamente conocidas en toda la Región 1 de la IARU.

Contactos programados y aleatorios (random)

Se pueden distinguir dos tipos de contactos por *Meteor Scatter*, organizados de maneras muy diferentes:

• **Contacto programado (*Sked*):** Dos estaciones interesadas acuerdan de antemano la frecuencia exacta de transmisión, el horario de la cita, el modo empleado (por ejemplo, telegrafía de alta velocidad, SSB o modos digitales MGM como FSK441 o MSK144) y los indicativos de llamada que se utilizarán. Históricamente, la programación de estas citas se realizaba mediante el intercambio de cartas postales. Con el tiempo, evolucionó hacia el uso del correo electrónico, la radio por paquetes (*Packet Radio*), o por radio en tiempo real a través del NET europeo de VHF en la frecuencia de HF de 14.345 MHz (o en la banda de 40 metros a nivel nacional). En la actualidad, el sistema se coordina mayoritariamente mediante salas de chat especializadas en Internet.

• **Contacto no programado *(Random)***: Una estación

lanza una llamada general (CQ) en una frecuencia de llamada estándar o responde a un CQ escuchado; esto es lo que denominamos un «contacto aleatorio». Los contactos en modalidad *random* son mucho más difíciles y exigentes ya que se parte totalmente de cero. Por este motivo, es especialmente crítico que ambas estaciones sigan al milímetro los procedimientos estándar descritos en este documento para no frustrar el comunicado.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *En el ámbito internacional, la plataforma y sala de chat más utilizada en todo el mundo para coordinar citas en directo y consultar la actividad en tiempo real es el conocido Chat de ON4KST. Para operar en él, es necesario registrarse previamente de forma gratuita en su web oficial y seleccionar la sala de actividad específica en la que se desea participar, que en nuestro caso es la de 144 & 432 MHz. Como apunte personal, la plataforma ofrece la excelente opción de conectarse de forma remota a través del protocolo Telnet, un sistema que en mi cuarto de radio resulta mucho más cómodo y ágil que la interfaz web tradicional.*

Sincronización temporal *(Timing)*

Antes de iniciar cualquier tipo de actividad en *Meteor Scatter*, es absolutamente vital y crítico ajustar los relojes del cuarto de radio con una precisión milimétrica, asegurando un desfase **inferior a un segundo** respecto a la hora

estándar de referencia (UTC). Cualquier mínima inexactitud o deriva en el reloj de la estación supondrá una pérdida total de tiempo y arruinará el QSO.

La sincronización precisa de los periodos alternos de transmisión y recepción es fundamental en el *Meteor Scatter* por dos razones de peso:

1. Para maximizar las probabilidades estadísticas de escuchar a la otra estación coincidiendo exactamente con la apertura del rastro ionizado.
2. Para evitar interferencias destructivas recíprocas entre estaciones locales que se encuentren operando de forma simultánea.

En las épocas analógicas, esta precisión temporal se lograba verificando visualmente la hora frente a las señales horarias de las transmisiones de televisión (teletexto), el servicio telefónico oficial de hora exacta o las transmisiones de radio de frecuencia estándar (como la mítica estación WWV). En la actualidad, esta tarea se ha simplificado por completo gracias a las señales horarias de alta precisión emitidas por las constelaciones de satélites **GPS** o mediante servidores de tiempo conectados a **Internet**.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *A nivel práctico, yo llevo muchísimos años utilizando en mi estación el programa informático* ***Dimensión 4****. Este software permite*

seleccionar un servidor de tiempo horario de alta fidelidad (NTP) de entre una amplia lista internacional para sincronizar el reloj interno del ordenador de forma automática, contando con la gran ventaja de que arranca de manera totalmente minimizada y transparente en segundo plano al poner en marcha el sistema operativo.

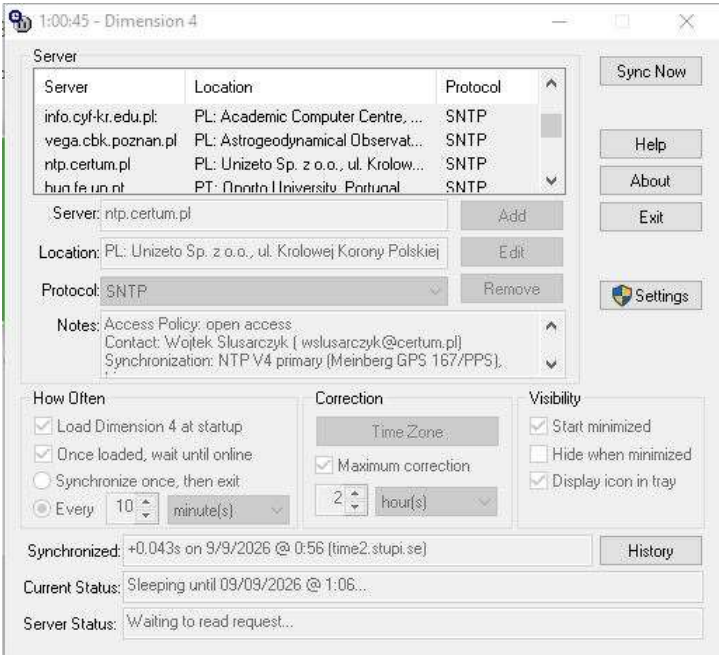


***Ilustración 23**. Pantalla dimensión 4*

Los intervalos de tiempo recomendados para los diferentes modos son:

- **Telegrafía (CW/HSCW):** intervalos alternos de 2,5

minutos.

• **Fonía (SSB):** intervalos alternos de 1 minuto.

• **Modos digitales MGM:** intervalos alternos de 30 segundos.

Esta práctica clásica ofrece resultados muy satisfactorios en la operación diaria. Sin embargo, los avances tecnológicos actuales permiten utilizar intervalos muy diferentes, y los radioaficionados pueden optar por establecer secuencias de 1 minuto para telegrafía e intervalos todavía más cortos para SSB y MGM (especialmente en MSK144), sobre todo durante las lluvias de meteoros de gran intensidad.

Si se utilizan intervalos de tiempo distintos a los recomendados por el plan de bandas, la prioridad absoluta del operador debe evitar causar interferencias a las estaciones locales que estén empleando los intervalos estándar. Aunque el periodo recomendado para los contactos en SSB es de 1 minuto, durante las grandes lluvias estacionales se fomenta el uso de un procedimiento de pausas breves —haciendo un *«break»* rápido de escucha cada 10 o 15 segundos— por si fuera posible completar el QSO en una sola transmisión prolongada gracias a un meteoro de gran tamaño (*bursts*).

Periodos de transmisión

Para minimizar la interferencia generalizada entre estaciones, se recomienda encarecidamente utilizar los periodos de transmisión estándar de la IARU basados en la posición geográfica y la orientación del comunicado. Como norma general, las estaciones situadas en Europa central y occidental deben utilizar el **segundo periodo** de la secuencia temporal establecida. En la medida de lo posible, todos los operadores de *Meteor Scatter* que residan en una misma zona geográfica o vecindad deben acordar transmitir de forma simultánea para evitar interferencias mutuas destructivas por proximidad.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Este punto es sumamente crítico. Yo añadiría como consejo imprescindible que, antes de apretar el PTT para transmitir, el operador permanezca varios periodos completos simplemente escuchando la banda para analizar la actividad local. En muchas ocasiones, tras varias horas de intensa actividad en el cuarto de radio, aparece de repente una estación cercana llamando CQ en un periodo cambiado (secuencia invertida); esto genera un bloqueo mutuo inmediato y hace del todo inviable la posibilidad de que cualquiera de los dos operadores locales pueda finalizar con éxito sus respectivos QSOs.*

Duración del QSO

Cada periodo de QSO ininterrumpido debe considerarse legalmente como un intento independiente y único. Esto significa que está estrictamente prohibido interrumpir un contacto a medias para continuarlo o rematarlo en una sesión posterior.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *No hay límite de tiempo, cada operador es conocedor de sus posibilidades y si no se termina en un tiempo determinado puede abandonar el intento, pero intentos con estaciones pequeñas y fuera de las lluvias principales, no es extraño que un QSO pueda durante 60 minutos o más. Pero con los sistemas digitales actuales y una estación media los QSOs se terminan en menos de 30 minutos.*

Frecuencias de operación

Contactos programados

Estos contactos concertados previamente pueden organizarse con cualquier periodicidad, teniendo siempre en cuenta el modo elegido y las directrices del plan de bandas vigente. Los contactos programados no deben utilizar bajo ningún concepto las frecuencias de llamada populares conocidas ni los segmentos reservados para la operación *Meteor Scatter* aleatoria (*random*). Se debe prestar un cuidado

meticuloso en la selección de la frecuencia de trabajo para evitar causar interferencias a terceros al utilizar periodos de transmisión inversa según la ubicación geográfica del corresponsal.

Contactos aleatorios (Random)

La frecuencia utilizada para lanzar las llamadas generales de CQ en contactos aleatorios debe ajustarse estrictamente a los planes de banda de la IARU Región 1 (por ejemplo, el centro de actividad tradicional de 144.200 MHz en SSB o 144.360 MHz en MSK144).

Procedimiento de cambio de frecuencia (QSY) para modos digitales (MGM)

Para evitar la saturación de la banda y las interferencias mutuas derivadas de un gran número de estaciones intentando completar sus contactos de forma simultánea en la misma frecuencia de llamada, la IARU recomienda el uso obligatorio de un método de desvío o QSY. Durante la llamada general de CQ, el operador que inicia la secuencia debe indicar explícitamente en qué frecuencia exacta escuchará la respuesta y llevará a cabo el QSO posterior.

El procedimiento normalizado para trasladar un QSO iniciado fuera de la frecuencia de llamada principal sin perder el contacto con el corresponsal es el siguiente. Si un

operador desea **lanzar una llamada de CQ**, debe seguir rigurosamente este protocolo QSY:

1. Seleccionar previamente la frecuencia limpia que se utilizará para el desarrollo del QSO, verificando minuciosamente que esté libre de tráfico local y de ruidos (*QRM*).
2. En la trama de transmisión del CQ, inmediatamente después de las letras **«CQ»**, se debe insertar la frecuencia de tres dígitos (expresada en kHz) que se utilizará para la recepción una vez finalizada la llamada (por ejemplo: *«CQ 383 EA3BTZ...»* indicando que se desplazará a 144.383 MHz).
3. Durante su periodo de recepción, el operador debe sintonizar su receptor exactamente en la frecuencia desbancada indicada en su propia llamada de CQ.
4. En el momento en que quien llama recibe una señal en dicha frecuencia y el software identifica que es una contestación directa a su CQ, cambia de forma automática (o manual) su transmisor a esa misma frecuencia de recepción. A partir de ese instante, todo el resto del QSO se desarrolla exclusivamente en esa frecuencia libre compartida.

Por el contrario, si un operador, en lugar de lanzar un CQ,

lo que desea es **buscar y responder a una llamada de CQ**, debe seguir este procedimiento inverso:

1. Escuchar de forma activa en la frecuencia de contacto aleatorio (*random*) del plan de bandas.
2. Cuando reciba una trama de CQ válida, anote inmediatamente los dígitos de la frecuencia que aparecen tras las letras «CQ». A partir de este dato, determine la frecuencia exacta en la que la estación emisora estará esperando las respuestas.
3. Efectúe el cambio de frecuencia (**QSY**) en su transmisor hacia esa frecuencia de destino y transmita su respuesta únicamente durante el periodo que le corresponda según la secuencia.
4. Dado que todo el QSO se desarrollará en esa nueva frecuencia, continúe transmitiendo y escuchando en ella durante los periodos adecuados. Es muy posible que la estación que emite el CQ original no escuche su primera respuesta debido a la brevedad de los *pings*; por tanto, **no es necesario volver en absoluto a la frecuencia de llamada general**. Tenga paciencia y mantenga la secuencia en esa frecuencia de desvío.
5. Todos los cambios de frecuencia (QSY) deben

realizarse obligatoriamente dentro del segmento limpio establecido para tal fin según los planes de banda oficiales de la Región 1 de la IARU.

💡 ***Nota práctica del autor:*** *Evitar operar en la frecuencia de llamada general es un asunto de vital importancia. Es una práctica muy habitual en los recién llegados —e incluso yo mismo lo he hecho en alguna ocasión del pasado— el hecho de lanzar un CQ en la frecuencia de llamada y, por comodidad, completar todo el QSO en ella al recibir respuesta. Sin embargo, debemos ser conscientes de que es muy probable que haya muchas más estaciones locales en nuestra zona pendientes de escuchar el ruido de la banda para cazar alguna llamada distante. Si ocupamos la frecuencia principal con un QSO completo, dejamos al resto de los colegas sin ninguna posibilidad de escuchar absolutamente nada.*

También se da con frecuencia el caso inverso: que escuches a una estación llamando CQ en la frecuencia de llamada y sientas la tentación inmediata de responderle ahí mismo. Todo esto también es muy relativo y requiere análisis, porque a lo mejor ese CQ que hemos escuchado de forma aislada ha llegado a través de una reflexión esporádica y aleatoria, y resulta que la estación emisora no está transmitiendo realmente en nuestra dirección geográfica; por tanto, por más que la llamemos insistentemente, jamás nos responderá.

Hay que tener muy en cuenta que la península ibérica (EA) se encuentra situada geográficamente en el extremo sur de Europa y, desafortunadamente, despierta poco interés como DX actualmente para los operadores del centro del continente. La gran mayoría de las estaciones europeas prefieren apuntar sus antenas hacia otras zonas con mayor densidad de corresponsales. Por este motivo, lograr que una estación del centro o norte de Europa gire sus directivas hacia el sur, requiere por nuestra parte, estar ubicados en un emplazamiento geográfico privilegiado y disponer de una estación con excelentes condiciones técnicas.

Notación de frecuencias MGM (en kHz)

Los usuarios de modos digitales (MGM) indican la frecuencia exacta en la que pretenden desarrollar el QSO completo añadiendo a la palabra de llamada los tres últimos dígitos de la frecuencia absoluta; es decir, la frecuencia expresada en kHz. Por ejemplo, la secuencia **«CQ 383»** indica explícitamente que la estación emisora pasará a escuchar en **144.383 MHz** para llevar a cabo el contacto posterior.

- **Ejemplo 1:** La estación G4ASR desea realizar una prueba de *Meteor Scatter* aleatorio en MGM y quiere comenzar lanzando una llamada general de CQ. Primero comprueba de forma activa su receptor en el rango reservado para MGM (que va de 144.360 MHz a

144.397 MHz) y encuentra una frecuencia totalmente libre en 144.394 MHz. A continuación, lanza su llamada de CQ en la frecuencia de encuentro estándar de 144.370 MHz, pero añadiendo los kHz de desvío a su trama para indicar dónde escuchará. Por tanto, en su transmisión emitirá el mensaje: **«CQ 394 G4ASR»**.

- **Ejemplo 2:** Usted se encuentra escuchando la banda de 6 metros y recibe a la estación PA2DW transmitiendo el mensaje **«CQ 274»** en la frecuencia aleatoria tradicional de 50 MHz. Esto le indica de forma inequívoca que PA2DW va a sintonizar su receptor exactamente en la frecuencia de **50.274 MHz** para procesar las respuestas.

Operativa en CW y SSB

Conviene destacar que las normativas internacionales vigentes de la IARU ya no describen ningún tipo de procedimiento oficial para la operación con cambio de frecuencia (QSY) en las modalidades de telegrafía (CW) o fonía (SSB).

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *El motivo de esta supresión normativa es evidente: la actividad en telegrafía analógica (CW) prácticamente ha desaparecido de las bandas en favor de los modos digitales, por lo que se ha eliminado el procedimiento por falta de uso. En SSB, durante los*

máximos absolutos de las lluvias mayores (como las Perseidas o las Gemínidas), todavía se puede escuchar a algún operador nostálgico lanzando llamadas de CQ en random, pero en este caso el QSO se realiza íntegramente en la misma frecuencia aprovechando la aparición de alguna reflexión superdensa (bursts) de larga duración; por tanto, tampoco se requiere aplicar un protocolo de desvío de frecuencia. Como apunte histórico, las frecuencias que se utilizaban tradicionalmente para llamar en SSB eran 144.200 MHz y 144.400 MHz.

Procedimiento general del QSO

Todos los modos de transmisión ya sean analógicos o digitales, utilizan exactamente la misma estructura procedimental para dar validez jurídica a un QSO en *Meteor Scatter*. Al intentar realizar contactos aleatorios en fonía (SSB), es fundamental pronunciar las letras con total claridad y utilizar estrictamente el alfabeto fonético internacional de la OACI (ICAO).

Llamada

El contacto comienza formalmente cuando una estación llama a la otra transmitiendo de forma alterna los dos indicativos de llamada de la secuencia.

Sistema de reporte (Código de controles)

El reporte de señal en *Meteor Scatter* difiere del clásico código RST de la radioafición convencional. Consta obligatoriamente de **dos números** que definen la naturaleza geométrica del eco recibido, según la siguiente tabla estandarizada de la IARU:

Primer Número	Segundo Número
Duración del "Burst"	Nivel de la señal
2: hasta 0,5 s	6: menor de S2 o 5dB
3: 0,5 - 1 s	7: entre S2 y S3 o entre 5 dB y 10 dB
4: 1 - 5 s	8: entre S4 y S5 o entre 10 dB y 15 dB
5: más de 5 s	9: por encima de S5 o mayor de 15 dB

Tenga en cuenta que el número «1» jamás se utiliza como primer dígito, ya que la escala de duración de la ráfaga comienza estrictamente en el número 2.

Para tener una referencia clara sobre cuándo aplicar el primer dígito (el valor 2 correspondiente a un *ping* o reflexión de baja densidad), la IARU recuerda los umbrales de duración máxima por banda calculados mediante la fórmula de propagación:

- En la banda de **50 MHz:** hasta 1000 ms.
- En la banda de **70 MHz:** hasta 500 ms.
- En la banda de **144 MHz**: hasta 100 ms.
- En la banda de **432 MHz**: hasta 13 ms.

Esto significa que cualquier eco cuya duración en la banda de 2 metros supere los 100 ms deja de considerarse un *ping* (dígito 2) i pasa a contemplarse como una ráfaga o *burst* (asociada a reflexiones superdensas de alta densidad de electrones), justificando el uso de los dígitos 3, 4 o 5 según corresponda.

Procedimiento para el envío del reporte

Se debe enviar el reporte únicamente cuando el operador tenga pruebas fehacientes y una certeza absoluta de haber recibido de forma completa el indicativo de la estación corresponsal y el suyo propio (o, al menos, partes esenciales e inequívocas de ambos que no dejen lugar a la duda). El reporte de dos dígitos debe enviarse de forma repetida dos veces entre cada intercambio de indicativos dentro de la trama de transmisión.

Una vez que se ha comenzado a transmitir un reporte concreto, **está estrictamente prohibido modificar dichos dígitos durante el resto del contacto**, independientemente de que la intensidad o la duración de las señales recibidas en los siguientes periodos pudieran justificar un cambio en la escala. El control inicial se mantiene inalterable hasta el fin del QSO.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Si nos encontramos escuchando la banda y captamos a una estación (por ejemplo,*

G0CUZ) llamando CQ de forma clara, existe una técnica avanzada para ganar tiempo: en lugar de contestarle siguiendo el protocolo estricto transmitiendo de forma larga ambos indicativos («G0CUZ EA3BTZ G0CUZ EA3BTZ...»), se le puede responder directamente inyectando el reporte de señal seguido de nuestro indicativo (por ejemplo: «26 26 26 EA3BTZ...»).

Si bien este método abrevia drásticamente el tiempo de transmisión y permite aprovechar al máximo los bursts cortos en su propia frecuencia, hay que manejarlo con mucha precaución ya que puede inducir a confusión. En momentos de gran actividad, es muy probable que haya varias estaciones europeas llamando CQ simultáneamente en la misma frecuencia de encuentro; si transmitimos directamente el control sin el indicativo de destino, el corresponsal puede no tener la certeza absoluta de a quién estamos contestando exactamente, lo que puede emborronar el comunicado.

Procedimiento de confirmación (The Rogers)

Tan pronto como uno de los operadores reciba correctamente ambos indicativos y el informe de señal del corresponsal, puede comenzar a enviar una trama de confirmación. Esto significa que absolutamente todas las letras y cifras se han recibido de forma íntegra y sin dudas. El mensaje final puede reconstruirse pacientemente a partir de

fragmentos de audio recibidos a lo largo de varias transmisiones breves (bursts y pings), pero corresponde exclusivamente a la responsabilidad del operador asegurarse de que dicha reconstrucción se realice de manera correcta e inequívoca. La confirmación se ejecuta insertando la letra «R» justo antes del reporte de señal (por ejemplo: *«R37»*).

Cuando un operador recibe un mensaje de confirmación (como *«R27»*) y ya dispone en su cuarto de radio de toda la información necesaria para dar validez al contacto, debe confirmarlo a su vez enviando una serie continuada de letras *«R»*, insertando su propio indicativo de llamada inmediatamente después de haber transmitido, al menos, tres *«R»* seguidas. Una vez que el primer operador ha recibido dichas *«R»* de retorno, el contacto se considera formalmente completado y este puede responder emitiendo de la misma manera para cerrar la secuencia.

Requisitos para considerar un QSO completo

Para que un comunicado sea válido, ambos operadores deben haber recibido correctamente y de forma recíproca los dos indicativos de llamada, el reporte de dos dígitos de cada estación y una confirmación fehaciente de que el otro operador ha hecho exactamente lo mismo. Esta confirmación definitiva puede consistir en una *«R»* antepuesta al reporte (el citado *«R26»*) o bien en una secuencia limpia

de, al menos, tres letras ***«RRR»*** consecutivas.

Contactos válidos y el uso de medios secundarios

Un contacto válido es única y exclusivamente aquel en el que ambos operadores han recibido la información necesaria de forma directa y a través de la propia radio, valiéndose de la propagación y de una confirmación inequívoca. Por tanto, las normas internacionales establecen que **no se debe recurrir a ningún medio secundario alternativo** —como Internet, salas de chat, el *DX Clúster*, comunicaciones en bandas de HF, telefonía, etc.— para obtener la información que falta, forzar cambios de frecuencia o modificar la orientación de las antenas durante el desarrollo del contacto. El uso de estos métodos secundarios invalida por completo el contacto por *Meteor Scatter*.

En resumen: si se acuerda o se descubre cualquier aspecto crítico relacionado con el intento de QSO en curso a través de medios ajenos a la frecuencia de radio del propio intento, es obligatorio reiniciar el proceso desde cero.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Considero que esta regla de la IARU es, en la práctica, un poco estricta. Lo ideal para completar un QSO de forma académica es que ambas estaciones hayan recibido las «R» finales a través del receptor. Sin embargo, en el mundo real de la VHF puede*

darse el caso de que tú recibas perfectamente la confirmación del corresponsal (por ejemplo, un «R27») y que pases varios periodos consecutivos enviándole tus «R» de confirmación, pero que la lluvia de meteoros caiga en picado y no haya forma de que vuelvas a escuchar nada en tu altavoz. Aquí queda la eterna duda de si se ha completado el QSO. Si el corresponsal logró escuchar tus «R» en su estación antes de que se cerrara la propagación, el contacto es plenamente válido, porque ambos tenéis en el log los indicativos, los reportes y las «R» mutuas.

Debido a esto, en la radio moderna siempre tendremos que acabar confirmando a través del chat la finalización real del contacto o bien esperar a recibir la tarjeta QSL (física o electrónica) para verificarlo. Por supuesto, vaya por delante que ***no es lícito bajo ningún concepto confirmar los datos de la finalización del contacto a través del chat****; la plataforma debe servir simplemente para verificar que el corresponsal ha recibido tus «R» de forma efectiva.*

Información adicional para la comunicación antes y durante el QSO

Para evitar malentendidos en el uso de plataformas de Internet o frecuencias de HF de apoyo, la IARU establece un listado con ejemplos de lo que se considera una comunicación ética y lo que viola las normas de la afición:

Ejemplos aceptables:

- *«¿Fijamos una cita en 144.388 MHz empezando a las 13:10 UTC? Yo transmito primero».*
- *«Tengo mucho QRM local, subamos 5 kHz y empecemos de nuevo el sked».*
- *«Sigamos probando otros 15 minutos más y volvamos a empezar».*
- *«Gracias por el excelente QSO»* (única y exclusivamente **después** de haber finalizado por completo el QSO por radio).

Ejemplos no aceptables que invalidan el QSO:

- *«Solo necesito que me envíes los 'Roger' finales».*
- *«Te paso mi control: 470/9».*
- *«Acabo de recibir una ráfaga tuya muy fuerte».*
- *«He copiado una ráfaga tuya pero mi ordenador no puede decodificarla».*

💡 ***Nota práctica del autor:*** *Pues en este punto también difiero respetuosamente con la recomendación oficial del manual. Está meridianamente claro que las salas de chat de Internet no pueden ni deben sustituir jamás al procedimiento de radio puro; si lo hicieran, estaríamos haciendo trampas a nosotros mismos. Sin embargo, me he encontrado en infinidad de ocasiones con que el tiempo de la cita se agota y el*

corresponsal, al no escuchar nada en su receptor, está a punto de tirar la toalla y apagar el equipo. Indicarle por el chat una frase de aliento como «He recibido una ráfaga tuya», ¿qué implicación real tiene? Ninguna mala; simplemente le estás aportando una información técnica de que sus señales están llegando al corresponsal, evitando que se desanime y motivándolo a seguir intentándolo.

Esta información complementaria en el chat jamás debe servir para manipular o adivinar el reporte de señal, porque entonces el QSO dejaría de ser lícito y perdería toda la gracia. Estamos hablando de una afición científica cuyo objetivo es pasar un buen rato y superar retos; ¿qué sentido tendría mentir diciendo que has escuchado a alguien si no ha sido así? Yo entiendo el intercambio de información a través del chat estrictamente como eso: una herramienta de cortesía para informar al corresponsal de lo que está sucediendo en el canal de propagación. De hecho, muchas veces, después de intercambiar esta información por el chat, el QSO ha seguido siendo imposible de completar y hemos tenido que posponer el intento para otra ocasión. La clave dorada es la honestidad: usar el chat para apoyar la paciencia del operador, pero ***jamás para manipular o falsear la Información del comunicado****.*

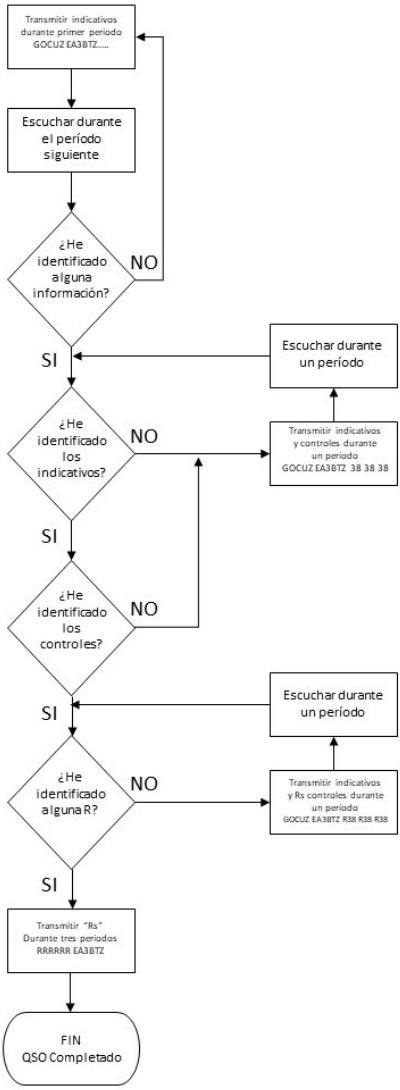


***Ilustración 24**. Diagrama realización QSO en Meteor Scatter*

Capítulo 4. Composición de una estación.

Este capítulo quizás sea el más interesante y esperado para todos aquellos que aún no os habéis estrenado en esta apasionante modalidad y tengáis dudas razonables sobre qué equipamiento mínimo se necesita para empezar. El lector observará de inmediato que en las siguientes páginas no aparecen marcas comerciales ni modelos específicos de equipos, y esto responde a una sólida razón editorial:

1. Con el paso del tiempo, algunos fabricantes desaparecen o son fagocitados por el mercado.
2. Determinados modelos icónicos dejan de fabricarse de la noche a mañana y se vuelven imposibles de encontrar, salvo en el mercado de segunda mano.

Además, como ningún fabricante subvenciona la edición de este libro, lo que encontrará aquí el lector son las especificaciones técnicas puras de lo que realmente se necesita en el cuarto de radio; hoy en día, gracias a internet, es sumamente sencillo encontrar el equivalente comercial exacto de cualquier componente basándose en estos parámetros.

En la radio de VHF en general, y para el *Meteor Scatter* en especial, es absolutamente obligatorio conocer y auditar

primero **nuestra ubicación geográfica**. Puedes disponer de un equipamiento tecnológico espectacular y de última generación, pero si tu horizonte físico está severamente obstaculizado por accidentes geográficos o vives sumergido en el entramado de una gran ciudad, encontrarás diferencias abismales en la recepción respecto a otras estaciones.

El ruido[21] Radioeléctrico es el gran enemigo que batir en nuestra afición. Y no me refiero al ruido acústico o de ventiladores que generamos nosotros mismos dentro de nuestro *shack* de radio (que también influye en la concentración del operador), sino al **ruido externo** ambiental. Este es el ruido captado de forma inevitable por los lóbulos de las antenas, producido tanto por fuentes naturales como artificiales:

- **Ruido natural:** Ruido solar, ruido galáctico o cósmico, ruido atmosférico (tormentas distantes) y la propia radiación térmica del suelo.
- **Ruido artificial (*man-made noise*):** Provocado por motores eléctricos, líneas de distribución de alta tensión, iluminación LED de baja calidad, fuentes

[21] **ENRIQUE FRAILE ALGECIRAS**, *El ruido matará la radioafición*, Revista Radioaficionados, 1 de octubre 2023

conmutadas, electrodomésticos, entre otros.

Recientemente están apareciendo numerosos estudios científicos y artículos en revistas del sector que alertan sobre el preocupante incremento del suelo de ruido en todas las bandas de aficionados, especialmente en entornos urbanos o industriales, llegando a niveles que hacen prácticamente impracticable la actividad de radio en fonía o telegrafía convencional. Aunque este ruido industrial afecta de forma más masiva a las bandas de HF, los usuarios de VHF no estamos en absoluto exentos de sufrir las consecuencias de este incremento.

Según un riguroso estudio de telecomunicaciones realizado por la UPC (Universitat Politècnica de Catalunya), el suelo de ruido medido en la frecuencia de 144 MHz dentro de un entorno urbano **supera en más de +18 dB** al registrado en un entorno puramente rural.

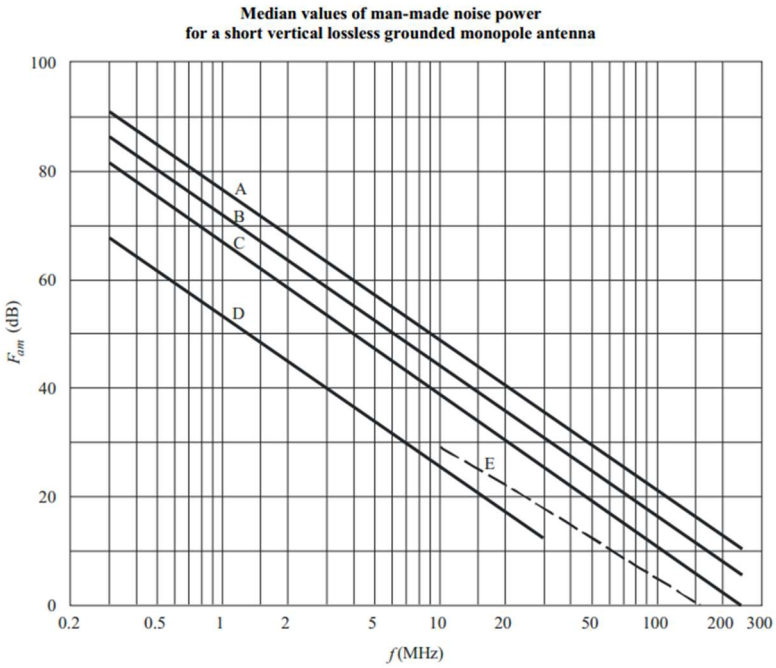


Ilustración 25. *Valores de la potencia de ruido equivalente en diferentes entornos en función de la frecuencia.*

En la ilustración 25 se pueden consultar los diferentes niveles de ruido electromagnético según el entorno y la frecuencia de trabajo. Las curvas estandarizadas corresponden a:

- **A:** Ciudad / Entorno urbano denso.
- **B:** Zona residencial / Suburbios.
- **C:** Entorno rural.
- **D:** Entorno rural silencioso / Desierto radioeléctrico.
- **E:** Ruido galáctico de fondo.

Analizando la gráfica, podemos comprobar que, en la

banda de 144 MHz, operar en una ciudad implica soportar un nivel de ruido aproximado de **+20 dB por encima** del que registraríamos en el campo.

Llegados a este punto, la pregunta del lector es obligada: ¿significa esto que es totalmente imposible hacer *Meteor Scatter* viviendo en una gran ciudad? Lamentablemente, en casos extremos, puede llegar a suceder. De hecho, por una estricta cuestión de honestidad profesional, debo confesar que **yo mismo tuve que cesar por completo mi actividad en Meteor Scatter desde la ciudad de Barcelona en el año 2024**, debido al insoportable nivel de ruido local que devoraba las señales en mi receptor

A pesar de esta advertencia, se pueden realizar perfectamente QSOs urbanos con otros corresponsales, pero siempre asumiendo de antemano la realidad del circuito: posiblemente nuestro corresponsal recibirá muchísimas más reflexiones y de menor intensidad que nosotros, especialmente si él se encuentra ubicado en un entorno rural de bajo ruido. Debemos tener en mente que las señales electromagnéticas reflejadas en los meteoros tendrán que realizar el milagro de superar esa formidable barrera natural y artificial de 20 dB de ruido urbano en nuestra estación para poder ser descodificadas.

No es mi intención desanimar a nadie, sino aportar el

realismo necesario que exige la radio avanzada actual. Este es un mal ecológico que, lejos de disminuir, va en aumento día a día y dificulta enormemente no solo los comunicados por *Meteor Scatter*, sino también los retos en modalidades como F.A.I. (*Field Aligned Irregularities*), E.M.E. (*Earth-Moon-Earth* o rebote lunar), e incluso los comunicados cotidianos a través de propagación troposférica o esporádica de la capa E.

Una vez que somos plenamente conscientes de las virtudes y limitaciones de nuestra ubicación, el equipamiento tecnológico necesario no es, en absoluto, sofisticado ni del otro mundo; de hecho, es el que normalmente ya tenemos disponible en el cuarto de radio para trabajar el DX en VHF.

La arquitectura básica de una estación estándar se compone de los siguientes elementos interconectados: **Antena, preamplificador de bajo ruido (LNA), amplificador de potencia (PA), transceptor de VHF, secuenciador de tiempos, fuente de alimentación y ordenador personal.**

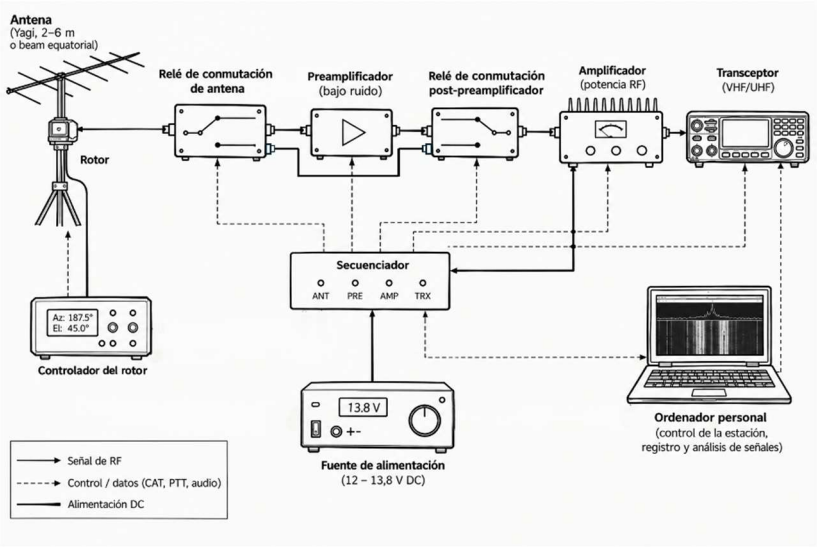


Ilustración 26 *Diagrama de bloques y esquema de conexionado de una estación estándar de VHF optimizada para Meteor Scatter.*

La antena

Siempre se ha dicho en nuestro entorno que la parte más importante de una estación de radio es la antena, y así es. Debemos tener muy en cuenta que, si nos vamos a dedicar de forma seria al *Meteor Scatter*, necesitaremos un sistema radiante direccional con una ganancia mínima de unos **13 dBi** (que equivale aproximadamente a unos 11 dBd). En la práctica, esto suele corresponder a una antena Yagi de entre 8 y 10 elementos, dependiendo de la optimización de su diseño.

En esta modalidad, lo que realmente nos interesa desde el

punto de vista físico es ser capaces de «iluminar» electromagnéticamente toda la zona ionizada por el paso del meteoro. Por este motivo, disponer de antenas con una anchura de haz en el lóbulo principal de entre **25, 35 o 40 grados** suele ser más que suficiente.

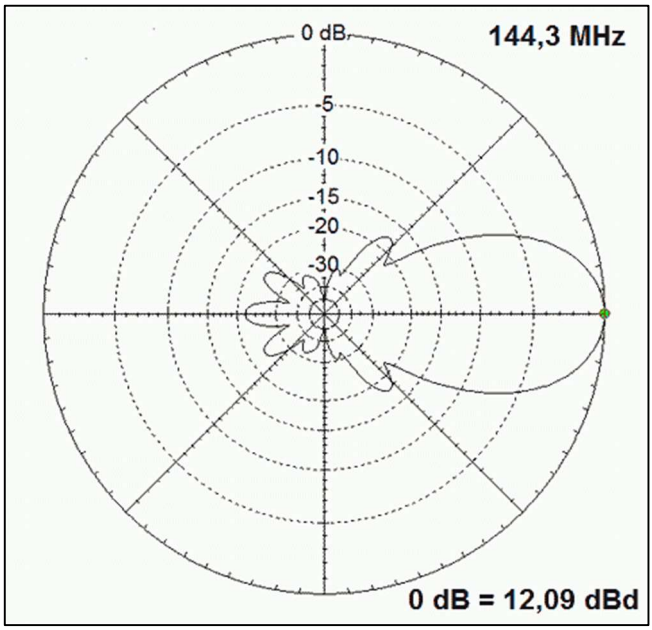


***Ilustración 27**. Lóbulo de radiación horizontal típico de una antena Yagi de 9 elementos para la banda de 2 metros.*

Si un operador intenta hacer *Meteor Scatter* aprovechando un grupo enfasado (*array*) de grandes antenas diseñado originalmente para rebote lunar (EME), se encontrará con que sus lóbulos son extremadamente estrechos. Esto obligará a tener una precisión milimétrica a la hora de apuntar

el azimut y la elevación hacia la zona de posible ionización. Por el contrario, si el lóbulo de radiación de nuestra antena es más ancho, esa exigencia de puntería geométrica desaparece.

Como se puede apreciar en la ilustración 27, una antena Yagi estándar de 8 o 10 elementos proporciona una ganancia muy respetable y mantiene una apertura de haz a -3 dB que ronda los 35º; unas especificaciones perfectas para el tráfico fluido de *Meteor Scatter*.

Para el receptor, resulta indiferente si optamos por instalar antenas del tipo Yagi, Quagi, colineales o cúbicas (*quad loops*). El factor verdaderamente crucial es que el lóbulo principal sea lo suficientemente ancho para abarcar la zona del elipsoide y, sobre todo, que **los lóbulos laterales y posteriores (*side lobes*) sean lo más pequeños y atenuados posible**. Estos lóbulos secundarios son los causantes directos de captar y meter dentro de nuestro receptor todo el ruido (*QRM*) industrial y residencial de los alrededores, elevando críticamente el suelo de ruido de la estación.

Fiel a la filosofía de este libro, no voy a recomendar ninguna marca ni modelo de antena en particular; la elección final dependerá del espacio y el presupuesto de cada operador. Por mi parte, a lo largo de mis más de cuarenta años

en las bandas de VHF, he tenido la inmensa fortuna de operar y realizar comunicados utilizando configuraciones radiantes muy diversas:

- Una sola antena Yagi de 9 elementos.
- Una sola antena Yagi de 16 elementos.
- Una sola antena Yagi de 21 elementos.
- Un *array* enfasado de 4 antenas Yagi de 5 elementos.
- Un *array* enfasado de 4 antenas Yagi de 8 elementos.
- Un *array* enfasado de 4 antenas Yagi de 9 elementos.
- Un *array* enfasado de 4 antenas Yagi de 16 elementos.

Y os puedo asegurar que he disfrutado al máximo realizando contactos con cada una de ellas. Dado que las condiciones de propagación por reflexión meteórica son tan sumamente aleatorias, resulta muy difícil sentenciar qué configuración ofreció un rendimiento neto superior en términos absolutos; sin embargo, no cabe ninguna duda de que con los *arrays* enfasadas más grandes, las señales resultantes eran notablemente más fuertes y estables. Como dato técnico comparativo, una formación de 4 antenas Yagi de 16 elementos estrecha el lóbulo de apertura a -3 dB hasta situarlo en unos escasos 18º.

Si partimos de la hipótesis geométrica de un comunicado estándar a una distancia ortodrómica de 1500 km entre

estaciones, la física nos enseña que las mejores reflexiones especulares se producen cuando la trayectoria de entrada del meteoro es tangente al plano de propagación cerca del punto medio de la ruta (a 750 km de cada estación) y a una altitud media de unos 90 km.

Sabiendo que los dos puntos calientes de posible ionización útil distan entre 50 y 150 km a ambos lados de ese punto central del trayecto, mediante cálculos trigonométricos elementales encontramos que el ángulo angular necesario para cubrir toda esa ventana espacial de 300 km oscila entre los **±4º y los ±11,5º.** Por lo tanto, una antena simple con una apertura de 23º cubre a la perfección toda la zona de reflexión, de una forma muy similar a como lo hacía el gran *array* de cuatro antenas gracias a sus 18º de apertura.

Por consiguiente, para formaciones radiantes todavía más masivas (como los sistemas de 8 antenas enfasadas o más que se emplean en EME), se vuelve obligatorio calcular de forma matemática y muy rigurosa el punto geométrico exacto del espacio donde se deben apuntar las antenas para no dejar la estela ionizada fuera de su estrechísimo haz de escucha.

A la luz de estos datos, se hace evidente que el azimut no representa el mayor de los problemas en el cuarto de

radio; **la elevación de la antena importa muchísimo más que el azimut**. Dado que el punto de reflexión física se sitúa de forma fija en la mesosfera a unos 100 km de altura, necesitaremos ajustar un ángulo de radiación vertical (*take-off angle*) muy concreto; por ejemplo, del orden de unos **6º de elevación** para un contacto distante a 1200 km. Es trigonometría básica.

Como norma general: cuanto más cercano se encuentre el corresponsal con el que deseamos hacer el *sked*, más elevación vertical tendremos que dar a nuestros sistemas radiantes; por el contrario, para intentar batir récords de distancia muy largas en la frontera de los 2200 km, apuntaremos las antenas prácticamente rozando el horizonte visual (0º de elevación).

> 📌 *En resumen: Para tener garantías de éxito en Meteor Scatter, buscaremos una antena (o combinación de ellas) que nos proporcione una ganancia neta de entre 12 y 14 dBd, que cuente con unos lóbulos laterales magníficamente atenuados y que mantenga un lóbulo de radiación horizontal comprendido entre los 20º y los 40º de apertura.*

El preamplificador de recepción (LNA)

«¿Preamplificador sí o preamplificador no?», he aquí una eterna e intensa pregunta en el mundo de la VHF avanzado. Vaya por delante que los preamplificadores de bajo ruido (LNA) no hacen milagros. Si operamos en un entorno ruidoso y con una gran contaminación radioeléctrica urbana, instalar un preamplificador sin control puede producir exactamente el efecto contrario al deseado: un aumento drástico del suelo de ruido y la aparición de molestas intermodulaciones. Por lo tanto, en estas ubicaciones críticas nos veremos obligados a buscar soluciones adicionales, tales como la introducción de filtros de banda estrecha o cavidades resonantes coaxiales de alto Q.

Por el contrario, si nuestra estación se encuentra en un entorno rural libre de ruidos, el preamplificador resultará de una ayuda inestimable. Eso sí, **debe ubicarse obligatoriamente lo más cerca posible de la antena** (a pie de boom o en la caja de conexiones de la torre) para que ejerza el efecto esperado. De muy poco sirve instalar un preamplificador abajo en el cuarto de radio al lado del transceptor; lo único que logrará en esa disposición será amplificar por igual tanto la señal deseada como el ruido y las pérdidas acumuladas a lo largo de toda la línea coaxial de bajada, por lo que no habremos conseguido absolutamente

ninguna mejora en la relación señal/ruido (S/N).

La finalidad física del preamplificador es la de mejorar de forma drástica el factor de ruido de todo el sistema de recepción. Está científicamente demostrado mediante la **fórmula de Friis** que la primera etapa de amplificación (el LNA de mástil) es la que determinará de forma casi exclusiva el factor de ruido final de todo el circuito receptor, enmascarando las pérdidas y el ruido de las etapas posteriores (el cable coaxial y el propio transceptor).

Cuando busquemos un preamplificador en el mercado, no debemos fijarnos únicamente en la ganancia en decibelios (dB) que nos ofrece, sino en otros parámetros técnicos vitales como el factor de ruido (NF) y, muy especialmente, el **punto de intercepción de tercer orden (IP3)**, los cuales suelen ser muchísimo más determinantes que la ganancia neta.

El factor de ruido debe ser lo más bajo posible. Hoy en día, gracias al desarrollo de los semiconductores basados en tecnologías de transistores pseudomórficos de alta movilidad electrónica de Arseniuro de Galio (*GaAs pHEMT*) o circuitos integrados monolíticos de microondas (*MMIC*) de bajo ruido, se consiguen de forma habitual factores de ruido que se sitúan por debajo de los **0,3 dB**.

A modo de ejemplo ilustrativo, analicemos las especificaciones técnicas de un transistor *E-pHEMT FET* clásico de Avago como el ATF-53189:

- **Consumo típico:** 135 mA a 4,0 V (optimizado para frecuencias de hasta 2 GHz).
- **Punto de intercepción de salida (OIP3):** +40,0 dBm.
- **Potencia de salida al punto de compresión de 1 dB (P1dB):** +23,0 dBm.
- **Figura de ruido (NF):** 0,85 dB (medidos a su frecuencia nominal de 2 GHz).
- **Ganancia asociada:** 15,5 dB.

Aunque este dispositivo en su hoja de datos nativa muestra una figura de ruido de 0,85 dB a 2 GHz, al optimizar su circuito de adaptación y ajustarlo específicamente para la banda de **144 MHz**, se consigue que su factor de ruido real caiga drásticamente por debajo de los **0,4 dB**. Sin embargo, su verdadera virtud radica en su extraordinaria robustez frente a señales adyacentes fuertes, ofreciendo una IP3 de +40,0 dBm. Esto se traduce en una protección soberbia, ideal para estaciones ubicadas en entornos severamente contaminados desde el punto de vista radioeléctrico.

En el mercado actual, existen diversos fabricantes especializados que suministran el preamplificador completamente

montado y calibrado de fábrica. También es cierto que se pueden adquirir módulos amplificadores genéricos a precios muy económicos en plataformas de venta en internet. No obstante, debemos tener muchísimo cuidado con estas placas baratas: la inmensa mayoría de estos amplificadores son de **banda ancha** (abarcan desde pocos MHz hasta varios GHz de forma plana) y carecen por completo de filtrado, por lo que, si no les añadimos un filtro paso banda helicoidal o de cavidad de alta selectividad a la entrada, saturarán inmediatamente el receptor de nuestra estación al captar las señales potentes de la FM comercial o de la telefonía móvil.

Por eso, es mejor adquirir previos que ya vengan montados en su caja y con los relés de "Bypass", porque si no, tendremos que además del filtro añadir unos relés y la caja de intemperie.

Por este motivo, para el aficionado es ampliamente recomendable adquirir preamplificadores comerciales específicos para VHF que ya vengan integrados de fábrica dentro de su correspondiente chasis blindado de aluminio y equipados con **relés coaxiales de conmutación directa (*Bypass*)**. De lo contrario, además de pelearnos con el diseño del filtro paso banda, nos veremos obligados a cablear relés coaxiales externos de alta calidad y a montar una caja

estanca a la intemperie para proteger todo el conjunto en lo alto de la torre.

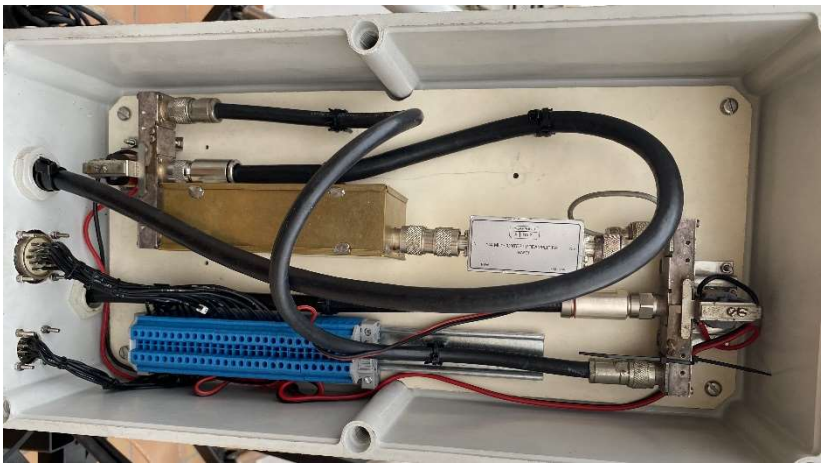


***Ilustración 28**. Vista interna de la caja estanca con el preamplificador de mástil y los relés de conmutación utilizados por el autor en su estación durante muchos años.*

Si finalmente decidimos ensamblar el conjunto nosotros mismos adquiriendo el previo y los componentes por separado, es un requisito ineludible comprar relés coaxiales de primera calidad profesional. Estos relés deben presentar unas pérdidas por inserción mínimas en 144 MHz y estar especificados para soportar, con un amplio margen de seguridad, una potencia de RF muy superior a la que tengamos pensado suministrar con nuestro amplificador lineal en las transmisiones.

Por otra parte, si optamos por un preamplificador compacto comercial de tipo industrial, debemos prestar especial atención a una precaución crítica si queremos conservar el transistor vivo durante muchos años. La gran mayoría de estos dispositivos compactos están diseñados para conmutar de recepción a transmisión de forma automática mediante un circuito detector de RF interno (*VOX de RF*). Al detectar el primer milivatio de potencia procedente del transceptor, el circuito activa rápidamente los relés internos para desviar la RF (*«by-pasar»*) y proteger el delicado transistor de recepción.

Yo recomiendo **no utilizar jamás este sistema de conmutación por detección de RF**, ya que tarde o temprano, debido a los tiempos de conmutación del relé magnético, la potencia del amplificador lineal alcanzará la puerta del transistor antes de que el relé se haya abierto por completo, provocando la destrucción inmediata por sobrecarga de RF del previo.

Para evitar este fatal desenlace, se hace totalmente recomendable, si no **obligatorio**, gobernar la estación mediante un **secuenciador de tiempos electrónico dedicado**. Este elemento crucial se encargará de gestionar las líneas de control, asegurando de forma milimétrica que no se aplique tensión a los relés coaxiales ni se active la

transmisión del transceptor o del amplificador lineal hasta que el preamplificador de mástil haya quedado completamente aislado y en modo de derivación segura.

> 📌 *En resumen: Si nuestra estación se encuentra en un entorno rural o de bajo ruido, buscaremos un preamplificador de mástil específico para VHF que nos proporcione una ganancia neta comprendida entre los 15 y los 20 dB, con una figura de ruido estrictamente inferior a 0,5 dB, que ofrezca la máxima IP3 posible y que integre los relés coaxiales de Bypass dentro de su propio chasis blindado.*

El amplificador de potencia (PA)

«Cuanta más potencia tengamos, mucho mejor». Sí, es una afirmación cierta, pero válida solo hasta un determinado punto crítico.

Lo que verdaderamente debe perseguir un operador es disponer de una **estación completamente equilibrada y compensada**. Es decir, si contamos con un sistema de recepción soberbio (un LNA excelente y antenas enfasadas) pero transmitimos con muy poca potencia, escucharemos una enorme cantidad de estaciones a las que nos será imposible llegar de retorno. Por el contrario, si operamos con una potencia descomunal pero nuestro sistema de recepción está «sordo» debido al ruido o a la falta de ganancia, nos escuchará medio continente, pero nosotros seremos

incapaces de captar sus respuestas.

Por lo tanto, mantener la estación compensada es la regla de oro. Hoy en día, gracias a la irrupción tecnológica de los modernos módulos de transistores **LDMOS**, resulta sumamente sencillo y asequible obtener potencias lineales cercanas al **kilovatio (1000 W)** a precios muy razonables. Si el espacio y el presupuesto lo permiten, mi consejo ineludible es adquirir o construir uno. Estos amplificadores de estado sólido tienen la gran ventaja de que se excitan con muy pocos vatios a la entrada, lo que nos permite regular la potencia de salida cómodamente según nuestras necesidades operativas. En el *Meteor Scatter*, la potencia de emisión bruta resulta, en la práctica, mucho más determinante que la propia ganancia física de la antena.

Para comprender esta realidad, podemos entretenernos calculando matemáticamente cómo nos recibirá nuestro corresponsal en un enlace teórico. Para ello, aplicaremos la siguiente fórmula general de balance de enlace (*link budget*):

$$Pr = Pt + Gt + Gr - Lt - Lp - Lr$$

Donde las variables electromagnéticas se definen como:

- $\boldsymbol{Pr}$**:** Potencia disponible en el conector del receptor (dBm).

- ***Pt*:** Potencia de transmisión aplicada (dBm).
- ***Gt y Gr*:** Ganancia de las antenas transmisora y receptora, respectivamente (dBi).
- ***Lt y Lr*:** Pérdidas totales en los cables coaxiales, conectores y líneas de transmisión de ambos extremos (dB).
- ***Lp*:** Pérdidas de propagación por trayectoria en el circuito de Meteor Scatter (dB).

Vamos a asignar valores reales y prácticos para un ensayo entre dos estaciones similares de nivel medio:

- P_t= 100 Vatios; (equivalentes a +50 dBm).
- G_t y G_r= 12 dBd, (equivalentes a 14,5 dBi).
- L_t y L_r = 0,7 dB de perdidas en cada línea de bajada.
- L_p = Aunque depende de múltiples factores dinámicos, para la frecuencia de 144 MHz estimaremos una atenuación de trayectoria media de unos 200 dB.

Sustituimos estos valores en nuestra fórmula de balance: P_r= 50 + 14,5 + 14,5 – 0,7 -0,7 – 200 = **-122,4 dBm**

Si convertimos esta potencia a una escala de tensión sobre una impedancia estándar de 50 Ω, obtenemos una señal de apenas **0,170 µV**

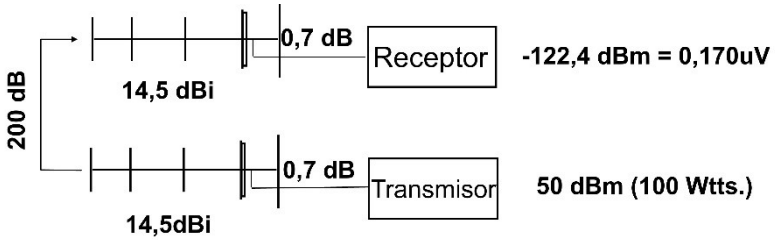


***Ilustración 29**. Gráfica y desglose del cálculo de nivel de la señal recibida en el extremo remoto.*

Teniendo en cuenta que el estándar de la IARU para la banda de VHF fija el nivel de S9 en -93 dBm (con una variación de 6 dB por unidad S), **esta señal se situaría alrededor de un nivel de S4 en el *S-meter* de nuestro transceptor** y quedaría completamente sepultada bajo el suelo de ruido urbano. Son señales al límite de la física, aunque es cierto que, durante los máximos de las lluvias importantes, donde la ionización de las estelas es mucho más densa, estos niveles de señal aumentan de forma drástica durante unos instantes.

Sin embargo, lo que nos interesa analizar ahora es qué resulta más eficiente y viable para el radioaficionado: si centrar los esfuerzos en aumentar la ganancia de la antena o bien incrementar la potencia del amplificador.

Como sabemos, cada vez que duplicamos el número de antenas enfasadas o aumentamos la longitud del *boom*, logramos incrementar la ganancia en apenas unos **3 dB**,

una tarea que complica, encarece y rigidiza enormemente la instalación de la torre. Veamos qué ocurriría en el cálculo si logramos la proeza de aumentar la ganancia de nuestra antena de transmisión G_t en esos ansiados 3 dB (pasando de 14,5 dBi a 17,5 dBi):

P_r= 50 + 17,5 + 14,5 – 0,7 -0,7 – 200 = **-119,4 dBm**

Esta potencia equivale en tensión a **0,240 µV**. Como era de esperar, hemos elevado la señal que recibe el corresponsal en 3 dB, aproximándonos a un nivel de **S4 y medio**. Ahora nos encontraríamos asomando la cabeza ligeramente por encima del ruido en un entorno rural muy limpio.

Ahora, en lugar de pelearnos con la torre y las antenas, vamos a mantener la configuración de las antenas iniciales (14,5 dBi) pero sustituiremos los 100 W por un amplificador LDMOS estándar de **500 W** (que equivalen a + 56.99 dBm

P_r= 56.99 + 14,5 + 14,5 – 0,7 -0,7 – 200 = **-115,41 dBm**

Esta nueva configuración eleva la tensión en el conector del receptor remoto hasta los **0,379 µV** Con este nivel de señal, el corresponsal nos recibiría marcando **algo más de un S5 nítido en el *S-meter* de su equipo**.

La conclusión práctica que se extrae de esta comparativa

es meridiana: **siempre resulta muchísimo más sencillo, económico y viable para el radioaficionado aumentar la potencia de emisión que incrementar la ganancia física de los sistemas radiantes**. Por este motivo, para operar con plenas garantías en esta modalidad, es sustancialmente más importante disponer de un amplificador lineal robusto que de una estructura masiva de antenas.

> 📌 *En resumen: Aunque es perfectamente viable realizar contactos esporádicos en Meteor Scatter en la banda de 144 MHz utilizando apenas 100 W (especialmente en modos digitales como MSK144), la adición de un amplificador lineal LDMOS de 500 o 1000 vatios es un elemento altamente aconsejable para asegurar comunicados diarios estables fuera de las grandes lluvias.*

El transceptor de VHF

Poco hay que añadir en este apartado en lo que respecta a marcas, ya que prácticamente cualquier transceptor moderno específico de VHF resulta totalmente adecuado para esta modalidad. Recuerdo con nostalgia algunas expediciones antiguas en las que utilizábamos un viejo y robusto ICOM IC-202 que funcionaba a la perfección. Hoy en día, los equipos modernos de VHF ya integran de fábrica unas especificaciones y características tecnológicas muy similares a los transceptores de HF de gama alta.

Antiguamente, para aprovechar las extraordinarias ventajas dinámicas de un equipo de HF, la práctica habitual entre los operadores avanzados consistía en utilizar ***transverters* a 28 MHz** (banda de 10 metros). De este modo, podíamos trasladar todas las prestaciones de filtrado y procesado de una radio de HF hacia la banda de VHF, logrando que estos transverters mejoraran drásticamente la figura de ruido general y la selectividad de todo el conjunto.

A modo de confidencia, mi estación actual está compuesta precisamente por un equipo de tecnología SDR de tipo QRP de HF conectado a un *transverter* de última generación; y os puedo asegurar que, sin lugar a duda, sigue siendo una configuración ganadora.

Llegados a este punto, ¿es estrictamente necesario que el equipo sea de tecnología SDR? Pues no, en absoluto, pero la inmensa mayoría de nosotros nos hemos acostumbrado ya a la inmensa comodidad de visualizar el espectro en cascada (*waterfall*) y ajustar todos los parámetros operativos mediante el ordenador a través de la pantalla. Sin embargo, un equipo analógico tradicional funciona exactamente igual de bien.

A la hora de auditar un receptor de VHF para tráfico específico en *Meteor Scatter*, las especificaciones técnicas

fundamentales en las que debemos fijarnos son las siguientes:

- **Figura de ruido (NF):** Lo más baja posible, idealmente **< 1,6 dB**.
- **Rango dinámico:** Alto, preferiblemente **> 95 dB**.
- **Punto de intercepción (IP3):** Alto frente a señales fuertes adyacentes, superior a **> +38 dBm**.
- **Sensibilidad máxima:** Lo más extrema posible, del orden de **< 0,16 µV** (equivalente a un umbral de -123 dBm).
- **Modulación:** Disponer obligatoriamente de Banda Lateral Única (**SSB**, operando en USB).
- **Estabilidad del oscilador de frecuencia:** Superior a **± 0,5 ppm** para evitar derivas.
- **Sincronización:** Si es posible, disponer de una entrada para **referencia externa de 10 MHz** (fundamental para disciplinar el equipo por GPS en modos digitales).
- **Control de potencia:** Regulación fina y lineal de la potencia de salida de RF para excitar correctamente el amplificador lineal sin saturarlo.
- **Control de ganancia:** Posibilidad de anular o gestionar manualmente el AGC.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Aunque a primera vista pueda parecer una nimiedad, en esta modalidad gobernada por*

*señales extremadamente débiles el **AGC (Control Automático de Ganancia)** no aporta nada positivo; bien al contrario, se convierte en un enemigo silencioso. El circuito del AGC en un receptor ajusta de forma automática la amplificación interna para mantener el nivel de audio de salida estable frente a las variaciones bruscas en la intensidad de la señal recibida.*

*Como la característica física intrínseca de una señal de Meteor Scatter consiste precisamente en un aumento fulminante y radical del nivel en cuestión de milisegundos (el citado «ping»), si mantenemos el AGC activado en modo lento, el circuito reaccionará atenuando el receptor de forma tan brutal y prolongada que **aplastará el propio eco y nos dejará sin posibilidad de descodificar la información**. Por consiguiente, es altamente aconsejable desconectar por completo el AGC o, como mínimo, configurarlo en su posición de respuesta más rápida (Fast).*

El secuenciador de tiempos

El secuenciador es un elemento absolutamente crítico y fundamental en el cuarto de radio si pretendemos operar utilizando de forma simultánea un preamplificador de mástil (LNA) y un amplificador lineal de potencia. Su función primordial consiste en generar una secuencia cronológica estricta de encendido y apagado de los diferentes componentes de la estación.

Para comprender su funcionamiento, analicemos el

comportamiento dinámico de los relés:

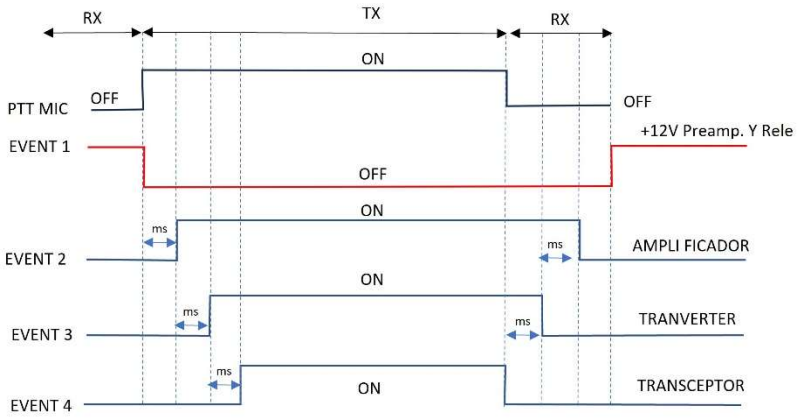


***Ilustración 30**. Diagrama de tiempos y secuencia normal de conmutación del secuenciador de mi estación.*

Al pulsar el PTT del equipo (Paso de Recepción a Transmisión - TX):

1. **Corte inmediato de la tensión** de alimentación del preamplificador de mástil (LNA).
2. **Activación y conmutación de la tensión** de los relés coaxiales de antena hacia la posición de derivación (*By-pass*).
3. **Activación de la línea de PTT** del amplificador lineal de potencia (PA).
4. **Activación final del PTT del transceptor**, iniciando la emisión real de radiofrecuencia (RF).

Al soltar el PTT del equipo (Paso de Transmisión a Recepción - RX):

1. **Corte de la línea de PTT del transceptor**, deteniendo inmediatamente la emisión de RF y pasando el equipo a modo de escucha.
2. **Desconexión de la línea de PTT** del amplificador lineal de potencia.
3. **Desactivación y retorno de la tensión** de los relés coaxiales de antena a su posición nativa de recepción.
4. **Restablecimiento de la tensión** de alimentación del preamplificador de mástil (LNA).

Como puede deducirse visualmente de este cronograma, esta secuencia lógica de retardos milimétricos está diseñada con el fin primordial de proteger el delicado transistor del preamplificador contra cualquier posible retorno, inducción o mala desconexión de la gran potencia generada por el transmisor.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Para ir todavía más lejos en la seguridad de mi cuarto de radio, en las configuraciones analógicas que utilizaba yo solía anular por completo el cable de PTT directo que unía el micrófono con el transceptor. De este modo, al presionar el PTT del micro, este actuaba única y exclusivamente sobre la entrada de control del secuenciador central. Así, el transceptor*

permanecía totalmente bloqueado y no comenzaba a emitir ni un solo milivatio de RF hasta que el propio secuenciador, tras verificar que las etapas previas estaban aisladas, le enviaba la orden definitiva de PTT al equipo.

En la actualidad, los transceptores modernos de VHF ya incorporan menús internos avanzados que permiten programar de forma digital un retardo configurable en milisegundos (*TX Delay*) en la puesta en marcha de la emisión una vez activado el PTT del micro.

A pesar de estas ayudas modernas, se debe prestar un cuidado extremo en **no activar jamás la función VOX (conmutación por voz)** del transceptor, ya sea operando en fonía (SSB) o en telegrafía (CW). Un pequeño e involuntario pico de potencia provocado por un ruido ambiente en el micrófono o un golpe de llave podría alcanzar el circuito antes de tiempo, destruyendo instantáneamente el preamplificador de mástil si no se cuenta con un secuenciador físico que gobierne el sistema.

Hoy en día se pueden adquirir en el mercado especializado diversos modelos de secuenciadores terminados. La oferta abarca desde los circuitos analógicos más sencillos basados en relés y condensadores de retardo, hasta sofisticadas placas programables gobernadas por microprocesadores; estas últimas también se pueden conseguir

fácilmente en formato de kit para soldar.

Para una estación estándar media, un secuenciador dotado de **cuatro salidas independientes** es más que suficiente. Por lo general, cada salida electrónica puede configurarse para proporcionar una conmutación por cierre a masa (colector abierto) o bien suministrar un positivo de alimentación directo para excitar un relé coaxial; la elección de la polaridad dependerá estrictamente de las especificaciones de los elementos periféricos que sea necesario controlar en la estación.

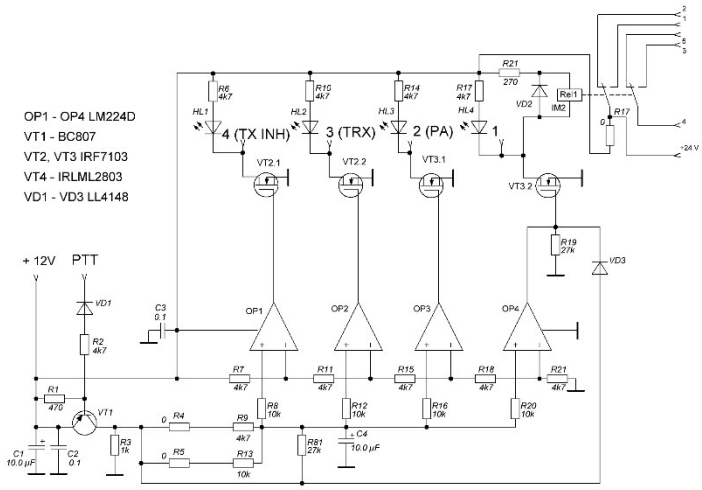


Ilustración 31. *Esquema eléctrico de bloques de un secuenciador de cuatro canales de diseño de aficionado.*

En resumen: Se debe considerar el secuenciador de

tiempos electrónico como una pieza fundamental, obligatoria e indispensable en la arquitectura de cualquier estación de VHF avanzada orientada al Meteor Scatter.

El ordenador personal

Hoy en día ya no se concibe un cuarto de radio moderno portador de tecnología avanzada sin la presencia de la informática; de hecho, la mayoría de nosotros acumulamos más de un ordenador en nuestro *shack*. En principio, el ordenador debe disponer de conexión a internet para gestionar las salas de chat operativas, aunque esto no es estrictamente imprescindible. También puede encargarse del control automatizado del rotor para orientar la antena directiva hacia el azimut exacto del corresponsal, función que tampoco es obligatoria para empezar. Lo que sí resulta ineludible es que el ordenador sea capaz de ejecutar fluidamente los programas de comunicaciones y gestionar la tarjeta de sonido encargada de digitalizar y codificar las reflexiones.

El software moderno necesita descodificar la información comprimida de las tramas complejas de **MSK144** a una velocidad muy alta y en una ventana de tiempo críticamente corta. Si la tarjeta de audio introduce distorsión o ruido de cuantificación, la señal analógica se deformará y el algoritmo informático será incapaz de descodificar con éxito el

eco del meteoro.

Por este motivo, la tarjeta de sonido es una pieza vital del sistema. La inmensa mayoría de los transceptores modernos de VHF ya llevan integrada su propia tarjeta de sonido interna a través del puerto USB, por lo que, si disponemos de un equipo de última generación, no nos tendremos que preocupar de este aspecto.

Sin embargo, si operamos con un equipo clásico que carece de interfaz digital y nos vemos obligados a utilizar la tarjeta nativa del ordenador, deberemos asegurarnos de que sea un componente de calidad. Debe ofrecer un rango dinámico alto, unos niveles de ruido interno lo más bajos posible y una capacidad de muestreo preferiblemente de **24 bits / 192 kHz**.

Otra solución excelente consiste en utilizar una **tarjeta de sonido externa dedicada (tipo interfaz USB)**; esta representa, de hecho, la mejor opción para el operador, ya que aísla los circuitos de audio de los intensos ruidos electromagnéticos provocados por los buses y ventiladores que se generan dentro de la torre del ordenador.

Respecto a la potencia de cómputo, no se requiere de ningún ordenador personal con especificaciones astronómicas. Los programas de señales débiles consumen relativamente pocos recursos de procesamiento, por lo que

cualquier ordenador moderno del mercado funciona a la perfección, ya sea en formato portátil o de torre. El único requisito físico crítico que debemos verificar es que la placa disponga de **suficientes puertos serie (o puertos USB emulados)** para poder interconectar todos los periféricos de la estación (CAT, secuenciador, rotor, etc.). Para dar los primeros pasos, podemos aprovechar perfectamente el ordenador que ya tenemos en casa, siempre y cuando no tenga más de una década de antigüedad, para evitarnos sorpresas desagradables con la velocidad de proceso.

> 📌 ***En resumen**: Si vuestro transceptor es moderno y lleva la tarjeta de sonido integrada por USB, la configuración será perfecta; de lo contrario, se hace altamente recomendable adquirir una interfaz de sonido externa de alta calidad.*

Los programas informáticos (Software de comunicaciones)

Para la operativa estándar actual en *Meteor Scatter*, utilizaremos el modo MSK144, integrado dentro de la célebre *suite* de programas WSJT-X. Este software de código abierto y distribución gratuita ha revolucionado la radio moderna, abarcando desde el popular modo FT8 a nivel mundial hasta comunicados extremos por rebote lunar

(EME) en las bandas de microondas.

Para descargar el programa, basta con acceder a su sitio web oficial buscando el término *«WSJT-X»* en la red. Una vez dentro de la plataforma, descargaremos el archivo ejecutable correspondiente, el cual cuenta con versiones nativas totalmente estables para entornos Windows, macOS y Linux.

En su propio portal web oficial, encontraréis una guía de usuario sumamente completa, con instrucciones detalladas sobre cómo realizar la instalación y un tutorial paso a paso para completar un primer QSO con éxito. Dado que dicho manual oficial es muy extenso, minucioso y está magníficamente explicado por los desarrolladores, considero innecesario reproducirlo en estas páginas, ya que la intención de este libro no es replicar ni copiar lo que ya está perfectamente descrito y accesible para todos.

A nivel de puesta en marcha inicial, los pasos lógicos obligatorios que debemos seguir en la interfaz tras arrancarla por primera vez son:

1. Configuración General: Acceder a la pestaña de *Settings / General* para introducir nuestro indicativo de llamada (*Callsign*) y el localizador de cuadrícula (*Grid Locator*) exacto de la estación.
2. Control de Radio: Entrar en la pestaña de *Radio* para

ajustar los parámetros del control CAT de la radio y el método de accionamiento del PTT (ya sea mediante comandos de datos o por líneas RTS/DTR dedicadas), de acuerdo con el modelo de transceptor que tengamos en el cuarto de radio.

3. Configuración de Audio: Abrir la pestaña de *Audio* para seleccionar los dispositivos de entrada y salida de sonido exactos que utilizará el software, dependiendo de si empleamos el códec interno del transceptor, la tarjeta del ordenador o una interfaz externa USB.

Para el resto de las funciones y herramientas avanzadas de la interfaz, lo ideal es seguir el tutorial oficial e ir seleccionando de forma experimental aquellas casillas que mejor se ajusten a nuestra operativa diaria.

Particularidades operativas del modo MSK144

Es importante destacar una gran diferencia técnica: a diferencia de la mayoría de los modos integrados en la *suite* WSJT-X (como el FT8 o el JT65, que esperan a que finalice el periodo completo de transmisión para procesar los datos), **el decodificador del modo MSK144 opera en tiempo real de forma continua durante toda la secuencia de recepción.**

Debido a esto, los mensajes e indicativos descodificados aparecerán impresos en la ventana de actividad de nuestra

pantalla de forma casi instantánea, tan pronto como el receptor capte el eco y el pulso del meteorito sea procesado por la tarjeta de sonido.

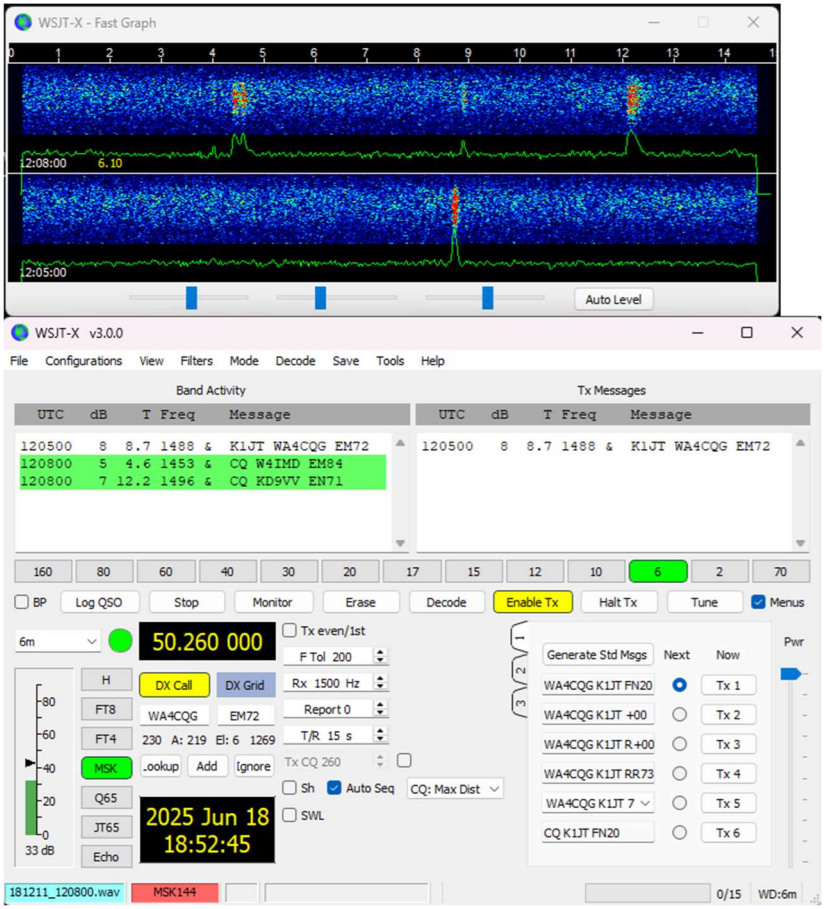


Ilustración 32. *Interfaz gráfica de la pantalla principal del programa WSJT-X operando en el modo específico MSK144.*

La siguiente captura de pantalla (Ilustración 32) muestra dos intervalos de recepción reales de 15 segundos que

contienen señales MSK144 nítidas procedentes de tres estaciones diferentes.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Es fundamental recordar lo que analizamos exhaustivamente en el capítulo dedicado al procedimiento operativo: en la banda de 50 MHz (6 metros) se emplean secuencias rápidas de 15 segundos, mientras que en la banda de 144 MHz (2 metros) el estándar actual de la IARU establece periodos de 30 segundos. El operador novel no debe asumir jamás de forma errónea que la operativa temporal es idéntica en todas las bandas de VHF.*

Para configurar correctamente el programa WSJT-X con el fin de operar con plenas garantías en el modo MSK144, se deben seguir minuciosamente los siguientes pasos técnicos:

- Seleccione **MSK144** en el menú desplegable de *Mode* (Modo).
- Seleccione la opción **Fast** (Rápido) en el menú de *Decode* (Decodificación).
- Establezca la frecuencia central de recepción de audio en el valor estándar de **Rx 1500 Hz**.
- Configure la tolerancia de desviación de frecuencia (**F Tol**) en un valor inicial de **100 Hz**.
- Ajuste la duración de la secuencia T/R (transmisión/recepción) en **15 s** o **30 s**, dependiendo estrictamente de la banda de trabajo y de las normas vigentes de la IARU

para su zona geográfica.

- Para adaptar la profundidad de descodificación a la capacidad real de procesamiento de su ordenador, haga clic sobre el botón *Monitor* (si no se encuentra ya iluminado en verde) para iniciar una secuencia activa de recepción de audio de la banda. A continuación, observe el porcentaje que aparece reflejado en la etiqueta *Receiving* (Recepción) situada en la barra de estado inferior:



- El número que se muestra en dicha etiqueta (por ejemplo, un 17%) indica la fracción exacta de tiempo disponible del ciclo que el procesador está consumiendo para ejecutar el algoritmo del descodificador MSK144 en tiempo real. Si este valor porcentual es muy inferior Las secuencias rápidas de transmisión y recepción (T/R) de 15 segundos o menos exigen que la estación responda y seleccione los mensajes de transmisión con extrema rapidez. Active obligatoriamente la casilla **Auto Seq** para que el motor de software tome de forma automatizada las decisiones operativas y los cambios de macro (*Tx1* a *Tx6*) en función de los mensajes decodificados del corresponsal.
- Para operar en 144 MHz o frecuencias superiores,

puede resultar útil utilizar mensajes cortos (formato **Sh**) para Tx3, Tx4 y Tx5. Estos mensajes tienen una duración de 20 ms, frente a los 72 ms de los mensajes MSK144 estándar. Su contenido informativo consiste en un hash de 12 bits derivado de ambos indicativos —en lugar de los indicativos en sí—, más un informe numérico de 4 bits, RRR o 73. Solo el destinatario previsto puede decodificar estos mensajes cortos. Se mostrarán con los indicativos encerrados entre signos de mayor y menor que (< >), tal como se aprecia en el siguiente ejemplo de QSO.

```
CQ K1ABC FN42
                    K1ABC W9XYZ EN37
W9XYZ K1ABC +02
                    <K1ABC W9XYZ> R+03
<W9XYZ K1ABC> RRR
                    <K1ABC W9XYZ> 73
```

💡 ***Nota técnica:*** *Conviene subrayar que el uso de mensajes MSK144 en formato corto (Shorthand) en las bandas de 50 o 70 MHz ofrece poca o ninguna ventaja práctica. A estas frecuencias bajas de la VHF, la gran mayoría de los pings meteóricos son lo suficientemente largos y estables como para admitir tramas y mensajes estándar completos. Estos últimos cuentan con la enorme ventaja de*

que pueden ser leídos y monitorizados por cualquier otra estación que se encuentre a la escucha en la banda, fomentando el espíritu de observación.

Operación de llamada en frecuencia desviada (*Offset CQ*)

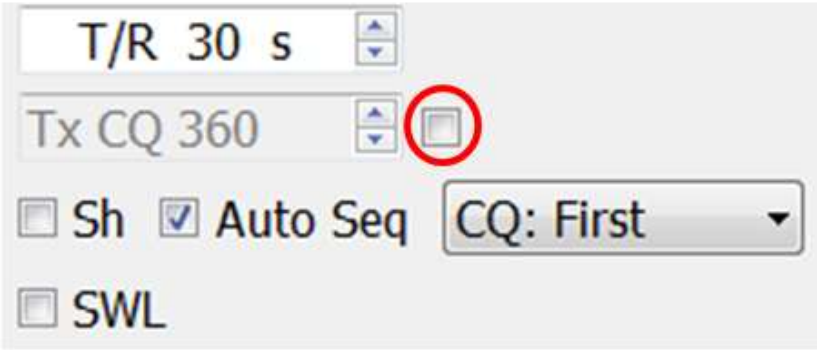
Se recomienda encarecidamente la utilización de esta función avanzada cuando el canal principal de encuentro aleatorio (*random*) se encuentre severamente saturado, ya que permite derivar y realizar la totalidad del QSO en una frecuencia alternativa de su propia elección, libre de ruidos e interferencias locales (*QRM*).

Por ejemplo, si un operador desea lanzar una llamada general de CQ en la frecuencia de encuentro de 144.360 MHz, pero quiere desarrollar el comunicado en la frecuencia limpia de 144.388 MHz, debe seguir estrictamente este protocolo informático:

1. Sintonice físicamente su transceptor en la frecuencia de destino elegida: **144.388 MHz**.
2. Marque la casilla de verificación situada justo a la derecha del control **«Tx CQ nnn»** de la interfaz.
3. Utilice el selector numérico de dicho control para establecer el valor **360** (el programa acepta valores comprendidos entre 010 y 999).

De este modo, su mensaje automatizado de CQ (contenido

en la macro *Tx6*), que incluye de forma transparente la información de la frecuencia de desplazamiento, se transmitirá en la frecuencia de llamada de 144.360 MHz. Inmediatamente después de finalizar la transmisión, el software ejecutará un comando CAT que ajustará el receptor de su radio exactamente en 144.388 MHz para la escucha. Todas las tramas y mensajes posteriores del QSO se transmitirán y recibirán exclusivamente en esa frecuencia libre de 144.388 MHz.



Al operar a la inversa, si usted se encuentra monitorizando la banda y recibe en su pantalla un mensaje como *«CQ 388 K1ABC FN42»*, bastará con realizar **un doble clic del ratón sobre dicha línea** para que el software ordene a su transceptor un cambio automático de frecuencia (**QSY**) hacia la frecuencia de QSO especificada por el corresponsal. El comunicado se desarrollará a partir de ese instante de forma segura en dicho segmento libre.

> 💡 ***Nota de configuración:*** *Estas avanzadas funciones de desvío automático están disponibles tanto en los submodos rápidos de JT9 como en MSK144. Para que operen de forma correcta, es un requisito ineludible disponer de una radio controlada por* ***sistema CAT*** *y tener rigurosamente activada la operación en* ***modo dividido (Split)*** *(ya sea mediante Rig o Emulated) dentro de la pestaña Radio, ubicada en el menú File | Settings (Archivo | Configuración).*

Por regla general, el protocolo de WSJT-X está diseñado para enviar un único mensaje de despedida «73». Sin embargo, cuando las condiciones de propagación son marginales y se requieren transmisiones repetidas para asegurar el copiado, puede resultar conveniente forzar el envío reiterado de este mensaje. Para ello, marque la casilla **«MSK144/Q65: Tx until 73 is received»** (Transmitir hasta recibir «73») dentro del grupo de opciones de comportamiento general (*General Behavior*) en el menú de configuración. El programa realizará un máximo de diez intentos consecutivos antes de que expire el tiempo de espera (*timeout*), en caso de que la estación remota no haya acusado el recibo del cierre. Asimismo, el operador puede valerse de la función *«Wait & Reply»* (Esperar y responder) si este margen siguiera resultando insuficiente.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Me gustaría aportar un par*

de consideraciones críticas de cara a la puesta en marcha de la estación digital. En primer lugar, fijando la vista en la barra vertical de nivel de audio situada a la izquierda de la pantalla de WSJT-X, debemos regular el potenciómetro de entrada del sistema para mantener de forma estable el indicador en la ***zona verde, marcando un valor de entre 30 y 40 dB*** *de ruido base de banda.*

En segundo lugar, y quizás este sea el ajuste más delicado e incomprendido, debemos auditar el nivel de la transmisión. Muchos radioaficionados conectan alegremente la salida de audio del ordenador al conector de accesorios del transceptor y se ponen a transmitir sin realizar ninguna comprobación previa. Desconocen por completo si sus equipos están distorsionando la señal, sobremodulando la etapa o si el nivel de excitación es el correcto. Debido a esta falta de ajuste, no es en absoluto raro encontrarse en la banda con señales severamente deformadas y ensanchadas que, precisamente por esa distorsión armónica, son totalmente ***incapaces de ser descodificadas*** *por el ordenador del corresponsal.*

Una metodología sumamente sencilla para evitar esto consiste en monitorizar la lectura del ***ALC*** *en el instrumento de nuestro transceptor durante la emisión. Podemos subir o bajar el nivel de inyección digital utilizando cómodamente el cursor vertical «Pwr» situado a la derecha de la interfaz de la pantalla o mediante los controles*

de volumen del propio sistema operativo. El truco consiste en ir subiendo el nivel de audio hasta que la aguja del instrumento empiece a marcar los primeros indicios de actuación del ALC; en ese preciso instante, ***debemos reducir ligeramente el nivel de audio hasta conseguir que el medidor de ALC caiga a cero y no marque absolutamente nada****. Esta ausencia de actuación del ALC es la garantía física inequívoca de que nuestro transceptor está emitiendo una señal perfectamente lineal y limpia.*

Otra alternativa práctica, en caso de operar con un transceptor clásico que no disponga de indicación visual de ALC, consiste en monitorizar el medidor de potencia bruta en un vatímetro de agujas cruzadas. Iremos incrementando paulatinamente el nivel de audio desde el ordenador y observaremos cómo la potencia de radiofrecuencia aumenta de forma paralela en el instrumento; continuaremos subiendo hasta alcanzar un punto exacto en el que, a pesar de seguir elevando el volumen del ordenador, la potencia reflejada en el vatímetro ya no suba más. ***Justo un punto por debajo de ese umbral de saturación*** *se encuentra el ajuste idóneo y lineal para fijar nuestra transmisión.*

Como consejo final, resulta altamente recomendable mantener siempre instalada la última versión estable del programa y releer minuciosamente los manuales (*release notes*) para analizar qué nuevas opciones o modificaciones

de código se han implementado. En la fecha de redacción de este libro, se encuentra plenamente en vigor la **versión 3.02 del software WSJT-X**.

Por último, al tratarse de un programa de código abierto (*open source*), otros ingenieros y programadores de la comunidad de radio tienen la libertad de realizar sus propias bifurcaciones y versiones adaptadas del software. Quizás la variante alternativa más célebre, robusta y ampliamente utilizada por los operadores en todo el continente europeo sea el programa **MSHV**, desarrollado y mantenido de forma brillante por el radioaficionado búlgaro **Christo Bodurov, LZ2HV**.

Capítulo 5. Herramientas de ayuda

Existen multitud de herramientas digitales que nos pueden servir de gran ayuda hoy en día en el cuarto de radio. Seguramente el lector encontrará algunas plataformas útiles que no están descritas en este capítulo, y es del todo seguro que en el futuro aparecerán otras nuevas; por este motivo, he decidido recopilar las principales herramientas que a mí me han servido de forma constante en el transcurso de estos últimos años.

El Chat ON4KST

Afortunadamente, hoy en día el operador ya no se encuentra solo ante el ruido de la banda durante su experiencia en *Meteor Scatter*. Este chat, activo y mantenido de forma brillante desde hace muchos años, es el que se ha popularizado más a nivel internacional y, sin duda, constituye la plataforma en tiempo real que todo entusiasta de la radio de VHF avanzada utiliza a diario en Europa.

Para operar en él se puede acceder cómodamente a través de su interfaz web tradicional, aunque también existe la opción de conectarse mediante el protocolo **Telnet**. En mi caso, por una estricta cuestión de agilidad y comodidad operativa dentro del *shack*, prefiero utilizar la versión Telnet integrada en el software de gestión.

La plataforma cuenta con diferentes salas especializadas que abarcan desde los 28 MHz hasta el segmento de las microondas. En lo que al tráfico de *Meteor Scatter* se refiere, nos registraremos y utilizaremos la sala de **144/432 MHz**.

Una vez que se accede al chat, la interfaz permite desplegar y organizar las ventanas de la manera que mejor se adapte al operador. Por lo general, las tres secciones más utilizadas y que debemos tener siempre a la vista son:

- La pantalla principal de mensajería y conversación activa.
- La ventana de los últimos *spots* o anuncios del clúster de VHF.
- La relación de estaciones registradas en la sala en tiempo real.

A través del menú de configuración (*Settings*), se deben introducir los datos personales (indicativo y Locator) y se puede personalizar el diseño visual del panel. Asimismo, el menú dispone de una sección de ayuda (*Help*) muy completa donde se detallan todos los comandos de texto que se pueden ejecutar.

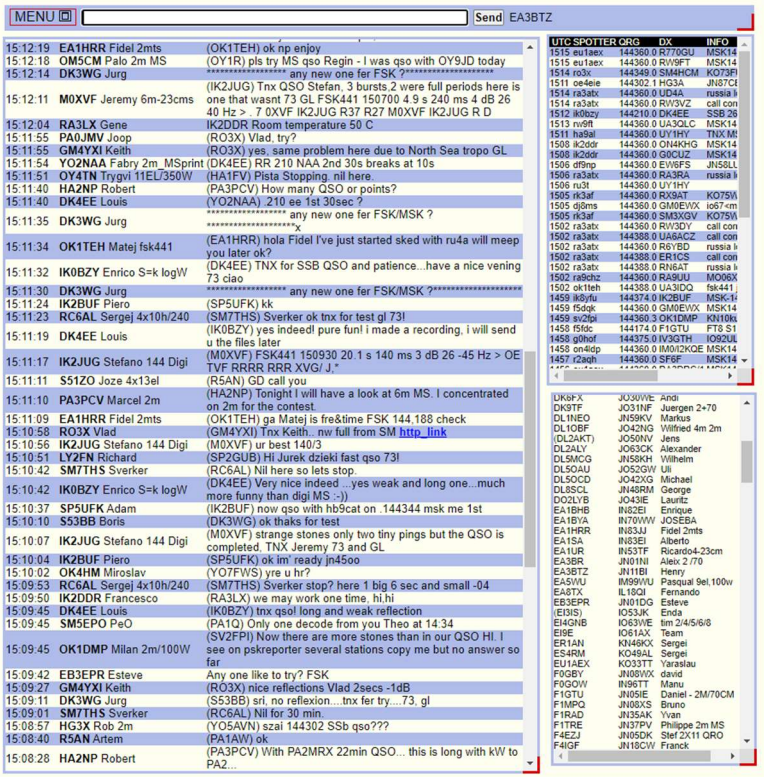


Ilustración 33. *Vista de la interfaz gráfica y ventanas operativas del chat de ON4KST.*

El funcionamiento básico para interactuar con otros colegas es realmente simple e intuitivo. Si deseamos enviar un mensaje privado a una estación concreta para proponerle una cita (*sked*), basta con buscar su indicativo y escribir en la línea de comandos la siguiente sintaxis:

/dest [Indicativo] [Mensaje]

Una vez escrito, hacemos clic en el botón de enviar (*Send*).

Quizás una de las funciones automatizadas más interesantes y potentes de la plataforma sea la capacidad de **configurar alertas personalizadas**. Podemos programar el chat introduciendo una lista de indicativos específicos o de cuadrículas (*grids*) que necesitemos; en el instante en que cualquiera de las estaciones buscadas se registre o lance un mensaje en el chat, el sistema disparará una alarma acústica o visual para que podamos ponernos en contacto con ella de inmediato. Como en todo software, la clave es entrar, explorar el menú con paciencia y familiarizarse con sus múltiples opciones.

> 🛠️ ***Buenas prácticas en el uso del chat (Consejo del autor):*** *El chat de ON4KST es una herramienta fabulosa para coordinar citas, pero debemos usarlo con extrema responsabilidad ética. Recuerda lo que analizamos exhaustivamente en el Capítulo 3 sobre las normas de la IARU:* ***está estrictamente prohibido utilizar el chat para intercambiar datos del QSO en curso****.*
>
> *Utiliza el chat para pactar la frecuencia de desvío (QSY) o confirmar quién transmite primero, pero jamás escribas frases como «te estoy recibiendo», «ya tengo tus letras» o «pásame las R» mientras el comunicado esté a medio hacer por radio, ya que eso invalidaría por completo el contacto. La honestidad del operador es el pilar de nuestra afición.*

Planificación y Conocimiento de la actividad

Conocimiento de la actividad meteórica

Hoy en día disponemos de una gran cantidad de información accesible en tiempo real sobre la actividad meteórica. Por lo tanto, antes de ponernos a lanzar llamadas de CQ en el cuarto de radio, debemos adquirir unas mínimas nociones sobre el estado del canal de propagación. Si la actividad meteórica es nula en ese instante, ¿qué sentido tiene transmitir?

> 💡 ***Consejo del autor (El arte de la escucha):*** *A mí me enseñaron una regla de oro que considero el pilar más importante de la radio avanzada: antes de apretar el PTT, la obligación del buen operador es escuchar, escuchar y volver a escuchar. Es un consejo que sigo manteniendo a rajatabla hoy en día antes de iniciar cualquier actividad.*
>
> *Primero audito la banda: analizo qué actividad real existe, qué estaciones europeas están activas en el chat, si hay alguna expedición en portable operando desde un QTH locator raro y qué frecuencias específicas de desvío están utilizando. En muchas ocasiones, tras este análisis, descubriremos que es sustancialmente más eficiente y rápido llamar a estas estaciones directamente en su propia frecuencia de trabajo que ponerse a lanzar CQs a ciegas en la frecuencia de encuentro aleatorio (random).*

Si nuestra intención es realizar pruebas aprovechando el flujo continuo de los meteoros esporádicos, ya sabemos que la mejor franja horaria para intentarlo es durante las mañanas y, a nivel estacional, el periodo óptimo del año comprende los meses de julio a septiembre. Para monitorizar con precisión matemática qué actividad real hay en un instante concreto, podemos consultar las herramientas en línea que ofrecen los radio observatorios automáticos, como la propia web del Radio Club La Salle, que dispone de un receptor WebSDR enfocado en exclusiva a la monitorización y espectrografía de señales meteóricas procedentes del radar GRAVES (un recurso didáctico excepcional del que hablaremos detalladamente en el siguiente capítulo).

Por el contrario, si queremos concentrar nuestra operativa durante un periodo de lluvia meteórica permanente, habrá que tener muy en cuenta que algunos máximos horarios de actividad serán muy favorables para nuestra ubicación geográfica y otros, en cambio, resultarán completamente estériles. Esto dependerá estrictamente de la geometría tridimensional y la elevación del radiante respecto a las coordenadas de nuestra estación en tierra.

Como norma geométrica general: si la posición del radiante astronómico se sitúa en el Este, la dirección óptima

para orientar nuestras antenas y buscar el elipsoide de reflexión será el eje Norte-Sur, ya que la dispersión eficiente de la estela se produce siempre de forma perpendicular respecto a la posición geométrica del radiante.

Los datos exactos sobre los máximos absolutos y las efemérides de los enjambres los podemos encontrar actualizados de forma científica en los portales web de referencia internacional, tales como la *International Meteor Organization* (IMO) o la Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España (SOMYCE), de las cuales ya hemos hablado ampliamente, o bien consultando las publicaciones de cualquier agrupación astronómica local.

Asimismo, existen excelentes aplicaciones informáticas diseñadas para representar en la pantalla del cuarto de radio la posición exacta del radiante en tiempo real. Entre las múltiples opciones que ofrece la red, destacan:

- **METShow:** Un software clásico y muy fiable que se puede descargar de forma gratuita directamente desde la página oficial de la IMO.
- **RadiantCalc:** Desarrollado por el prestigioso operador sueco **Kjell Jönsson (SM6FHZ)**. Es el programa que yo utilizo personalmente en mi estación debido a su gran precisión trigonométrica, y se puede obtener de forma libre a través de su portal web.

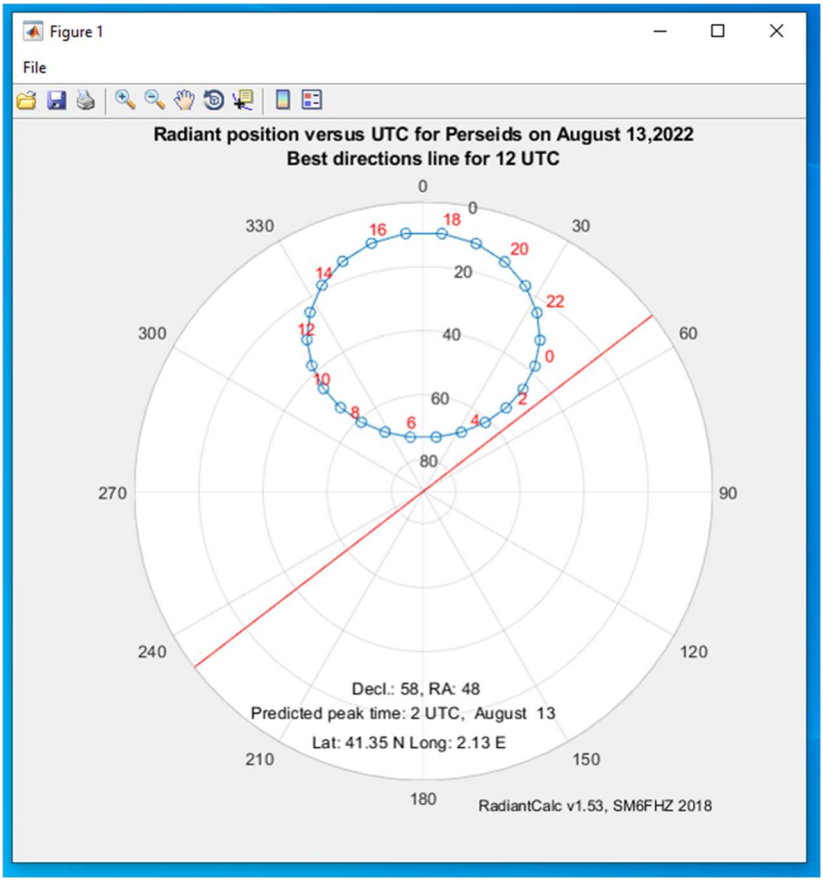


***Ilustración 34**. Interfaz de planificación del programa RadioCalc..*

Otro sitio web de obligada consulta diaria para planificar temas relacionados con el *Meteor Scatter* es la conocida plataforma internacional **«Make More Miles on VHF»** En su sección especializada en propagación por reflexión meteórica, podremos consultar de forma interactiva cuáles son las lluvias más próximas en el calendario, sus datos

físicos asociados, el estado dinámico de la propagación en Europa o qué expediciones de VHF "advanced" se encuentran activas o en marcha en ese preciso instante.

Durante más de dos décadas, otra herramienta informática que me ha acompañado fielmente en el *shack* ha sido el célebre programa **Virgo**, un software excelente que servía para predecir y visualizar gráficamente la posición de los radiantes de meteoros en tiempo real sobre la bóveda celeste local. Sin embargo, tras dar un servicio intachable a la comunidad de VHF durante más de veinte años, el programa ha sido descatalogado y ha aparecido su sustituto natural de última generación, denominado **SWAN** (*Sky Wave Analysis Network*).

La vista principal del cielo en el software SWAN muestra de forma dinámica el hemisferio visible con todos los radiantes de meteoros que se encuentran activos en ese preciso instante. Los radiantes se van atenuando visualmente en la pantalla a medida que caen hacia el horizonte y pueden ser seleccionados individualmente por el operador para examinar con precisión matemática su geometría de dispersión hacia adelante (*Forward Scatter*).

El mapa muestra la trayectoria proyectada del meteoro y dos regiones iluminadas que indican las áreas potenciales de dispersión hacia adelante.

Al seleccionar un radiante concreto en la interfaz, se activa de forma automática una vista secundaria sobre un mapa geográfico. En él, el programa proyecta la trayectoria estimada del meteoroide junto con dos corredores de dispersión frontal bien definidos que asemejan el haz de luz de dos potentes reflectores. Estos corredores de propagación suelen abarcar distancias de enlace que oscilan de forma regular entre los 500 y los 2000 km de distancia ortodrómica. Las zonas iluminadas en el mapa representan las áreas geográficas exactas de la superficie terrestre donde las reflexiones de radio por tangencialidad son geométricamente posibles en ese momento.

> 📌 ***Nota aclaratoria de los desarrolladores de SWAN:*** *«Debemos advertir al usuario que el software SWAN no es el sistema JPL Horizons de la NASA, ni esto pretende ser ingeniería aeroespacial compleja. La traza del meteoro y los dos corredores representados a modo de "reflectores" en el mapa geográfico tienen como única finalidad servir de guía práctica y visual para que el radioaficionado pueda planificar sus contactos (QSOs) mediante Forward Scatter, no deben contemplarse como modelos físicos exactos ni absolutos».*

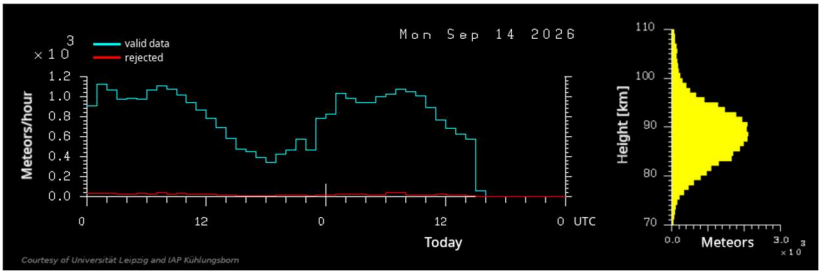


Ilustración 35. *Ventana de análisis gráfico de impactos y distribución por altitudes en el software de radio-observación SWAN.*

El programa ofrece además una ventana del navegador completamente independiente y muy útil. En ella se muestran de forma continua dos gráficos estadísticos que representan, por un lado, el número neto de meteoros detectados por hora mediante la técnica de radar de dispersión hacia atrás (*Backscatter*) y, por otro, la distribución vertical exacta de los meteoros clasificada según la altitud de ionización en la mesosfera.

Como indicaba al inicio de este apartado, un operador de VHF avanzado no debe limitarse a encender los equipos y ponerse a llamar CQ en cualquier dirección del azimut o a cualquier hora del día de forma aleatoria. Bueno, si alguien desea operar de ese modo, por supuesto que es libre de hacerlo y nadie se lo va a prohibir; pero utilizando de forma inteligente estas potentes herramientas digitales gratuitas, seremos capaces de planificar meticulosamente nuestras pruebas de radio para que finalicen con el éxito y la

satisfacción que todos esperamos en el cuarto de radio.

PSK Reporter

Si por alguna circunstancia no tuviéramos a nuestra disposición ninguna de las herramientas digitales interactivas descritas anteriormente, todavía podemos aprovechar al máximo la ingente cantidad de información en tiempo real que nos proporciona la red **PSK Reporter**.



Ilustración 36. *Visualización en pantalla de los informes de recepción automáticos a través de la interfaz geográfica de PSK Reporter.*

El uso típico de esta plataforma de monitorización automática consiste en que el radioaficionado emite una serie de llamadas de CQ en modos digitales y, al cabo de unos pocos minutos, puede consultar visualmente sobre un mapa mundial exacto qué estaciones y en qué coordenadas geográficas se ha recibido su señal de radio. Esto resulta extraordinariamente útil para determinar de forma

empírica las condiciones de propagación instantáneas o para ajustar y calibrar con precisión los parámetros de la antena, las líneas de transmisión o el propio transceptor.

Su operativa práctica es sumamente sencilla: simplemente accedemos a la página web de PSK, seleccionamos nuestra banda de trabajo (por ejemplo, 144 MHz) y el modo específico MSK144. A continuación, transmitimos durante varios periodos consecutivos en la banda y comprobamos en el mapa si alguna de las múltiples estaciones receptoras automatizadas distribuidas por Europa nos está monitorizando y captando.

Recomendación Final

Completar un QSO por *Meteor Scatter* no es, en absoluto, una tarea difícil, a pesar de que tras leer detenidamente este manual os pueda parecer un proceso complejo o inalcanzable. Como ocurre con cualquier modalidad nueva en la radio avanzada, el único secreto consiste en enfrentarse a ese lógico miedo inicial a lo desconocido y, sencillamente, intentarlo. Ninguno de nosotros nacemos enseñados; la práctica constante, la paciencia y los errores en el cuarto de radio son los únicos factores que nos convertirán en mejores operadores con el paso del tiempo.

Si me lo permitís, para dar por concluido este bloque de

herramientas, me gustaría dejaros unos consejos muy simples, pero de obligado cumplimiento que deberíamos seguir a rajatabla todos los que somos apasionados de esta increíble modalidad:

> 📜 ***Buenas prácticas del buen operador de Meteor Scatter***
>
> - ***No utilizar jamás las frecuencias de encuentro de Meteor Scatter para QSOs locales:*** *No es en absoluto extraño sintonizar la frecuencia de llamada y encontrarse con la desagradable sorpresa de ver a dos estaciones cercanas intercambiándose controles en MSK144. Recordad siempre que no estáis solos en la banda; con total seguridad habrá otras decenas de estaciones distantes intentando escuchar u operar en el límite del ruido para cazar alguna reflexión efímera. Por favor, dejad los comunicados locales directos para otras frecuencias o modalidades.*
> - ***Empaparse del VHF Handbook de la IARU Región 1:*** *Es de vital importancia conocer en profundidad toda la normativa internacional que hace referencia a nuestra actividad. Lo correcto es nutrirse de conocimiento normativo de antemano; en la radio avanzada no es de recibo aplicar la postura incívica de «hago lo que quiero y luego si acaso pido perdón».*
> - ***Estudiar y respetar al milímetro el procedimiento operativo:*** *Los procedimientos internacionales no son*

un capricho; se han diseñado minuciosamente para que toda la comunidad mundial disponga de un marco común donde experimentar exactamente en las mismas condiciones, evitando que cada operador intente inventarse sus propias reglas sobre la marcha.

- ***Conocer previamente la actividad y las condiciones meteóricas:*** *Resulta fundamental planificar la radio para no perder el tiempo y maximizar la eficiencia de nuestras pruebas. Os aseguro que será muchísimo más reconfortante y exitoso que pasarse horas llamando a ciegas sin escuchar nada, por el simple hecho de no haber dedicado apenas unos minutos previos a consultar cómo está la actividad o la posición de los radiantes.*
- ***Utilizar escrupulosamente los periodos de llamada adecuados:*** *Esto va intrínsecamente ligado al respeto por los reglamentos. No hay nada más incómodo y destructivo para el tráfico de VHF avanzado que estar escuchando pacientemente una frecuencia débil, cuando de repente irrumpe una estación local transmitiendo con la secuencia temporal invertida (periodo cambiado), provocando un bloqueo inmediato.*
- ***Respetar los intervalos de tiempo acordados en los manuales:*** *Al igual que en el caso anterior, si la banda está operando bajo una secuencia estandarizada y aparece de repente una estación transmitiendo*

en periodos de 15 segundos en lugar de los 30 establecidos, lo único que consigue es dividir a la mitad sus propias posibilidades de éxito y arruinar por completo las de los demás.

- ***Y finalmente, hay que recordar que no estamos solos**: El Meteor Scatter es, en esencia, muy parecido a ir a pescar. Lanzamos el anzuelo al agua y esperamos pacientemente a que alguien muerda el anzuelo al otro lado. Lo que ocurre en esta modalidad es que todos tiramos la caña exactamente en la misma frecuencia, y para que nadie termine con los hilos enredados, es una obligación de caballerosidad radio saber compartir el espacio con respeto y generosidad.*

Capítulo 6. Radio Observatorios.

Introducción

Los meteoros se observan desde hace siglos y su estudio constituye una rama fundamental de la astronomía, tanto profesional como amateur. La observación visual de meteoros es,[22] sin lugar a duda, la metodología más antigua que se conoce; a ella le siguieron históricamente las observaciones fotográficas, las telescópicas y, finalmente, las técnicas basadas en la radiofrecuencia.

Las observaciones visuales tradicionales se concentran principalmente durante los máximos de las lluvias estacionales, enfocando el campo de visión hacia la posición estimada del radiante. Sin embargo, existe un nivel mínimo de actividad de fondo bajo el cual las observaciones ópticas a simple vista son incapaces de producir datos estadísticos fiables, debido fundamentalmente a la contaminación y solapamiento provocados por el flujo continuo de meteoros esporádicos.

El objetivo principal de estas observaciones científicas es analizar la posición exacta de los radiantes, monitorizar su

[22] **Luis Ramón Bellor Rubio**, *Manual de Observaciones Visuales de Meteoros,* SOMICE, febrero 1995

desplazamiento diario o, simplemente, realizar un conteo sistemático para determinar la **Tasa Horaria Cenital (ZHR)**. Este parámetro astronómico es el indicador básico que describe la actividad real de un enjambre y se define teóricamente como el número de meteoros que un observador medio vería en una hora bajo un cielo perfectamente limpio, oscuro y con el radiante ubicado directamente sobre el cénit. Este es uno de los datos cruciales que los operadores de *Meteor Scatter* utilizamos para predecir la intensidad y el rendimiento potencial de una lluvia de cara a nuestros comunicados.

Paralelamente, existe una gran afición orientada a la fotografía de gran campo y a la observación telescópica de trazas. En los últimos años, gracias al espectacular avance de la electrónica digital y de los sensores CMOS, se han desplegado densas redes automáticas de observación de meteoros por vídeo. Mediante el análisis informático de las capturas simultáneas de estas cámaras, se pueden determinar con gran precisión matemática la trayectoria tridimensional, el vector de entrada y la velocidad real del meteoroide.

La observación por radio ha sido la última gran técnica en incorporarse a este abanico metodológico. En la actualidad, los grupos de investigación más avanzados coordinan

de forma sinérgica la observación por radiofrecuencia con la captura de vídeo, logrando una monitorización global las 24 horas del día, con total independencia de las condiciones meteorológicas o de la luz solar.

Historia de la observación de meteoros por radio

Este es un apartado histórico tan sumamente denso que, por sí solo, justificaría la redacción de un libro independiente. De hecho, durante los meses de confinamiento provocados por la pandemia del COVID-19, inicié un proyecto editorial conjunto con Orlando Benítez (actual presidente de SOMYCE) para intentar plasmar toda esta crónica. Sin embargo, al tratarse de una especialidad tan sumamente extensa y donde los cambios tecnológicos se sucedían a una velocidad vertiginosa, decidimos pausar el manuscrito. Confío firmemente en que, en un futuro cercano, podamos retomar aquellas notas y culminar un proyecto que iniciamos con tantísima ilusión.

Haciendo una obligada retrospectiva[23], entre las décadas de 1950 y 1960, el grupo de aficionados agrupado en la *American Meteor Society* (AMS) —especialmente a través

[23] **James Richarson and David D. Meisel**, *Radiometeor Project*, American Meteor Society Ltd, 1997

del denominado *Kansas Meteor Group*— fue el pionero absoluto en el diseño y despliegue de un sistema de radio por dispersión hacia adelante (*Forward Scatter*).

Con la eclosión de métodos profesionales altamente sofisticados de detección fotográfica y de radar militar durante esos mismos años, el interés de las instituciones científicas estadounidenses por apoyar económicamente la recopilación de datos de los aficionados disminuyó drásticamente, extinguiéndose las subvenciones oficiales. Durante los años posteriores a la publicación del último gran catálogo de Charles P. Olivier, no se llevó a cabo ningún intento serio de actualizar las bases de datos globales de meteoros de forma pública. Durante este periodo de vacío institucional, los observadores de la AMS continuaron realizando conteos visuales rutinarios, educando al público y buscando vías alternativas basadas en la tecnología para volver a contribuir de forma útil a la ciencia profesional.

A principios de la década de 1980, surgieron una serie de factores técnicos y económicos que propiciaron la oportunidad de modernizar y actualizar los trabajos de Olivier mediante la colaboración activa de los radioaficionados integrados en la AMS.

En primer lugar, a los observatorios astronómicos gubernamentales les resultaba cada vez más costoso financiar el

mantenimiento y el consumo eléctrico de transmisores de radio dedicados de alta potencia que operaran de forma continua (un requisito indispensable para la vigilancia sistemática del flujo meteórico). En segundo lugar, los radioaficionados y astrónomos de a pie ya podían adquirir comercialmente equipos de recepción dotados de una sensibilidad y una figura de ruido extraordinarias, comparables a las que solo estaban al alcance de los radioastrónomos profesionales una o dos décadas atrás.

En esa misma época, la *British Meteor Society* (BMS) contaba con una sección puntera destinada específicamente al estudio radioastronómico, denominada *«Radio Scatter Work»*. La BMS proponía a sus miembros el despliegue de observatorios de radio caseros basados en estaciones de radioaficionado estándar modificadas para operar en la banda de 4 metros (segmento de 70,0 a 70,7 MHz), una banda que, cabe recordar, estaba totalmente prohibida en España en aquellos años.

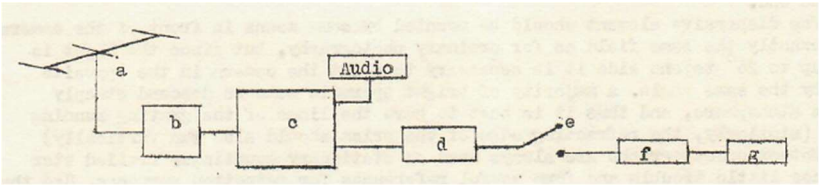


Ilustración 37. *Diagrama de bloques del observatorio de radio analógico propuesto originalmente por la BMS.*

La arquitectura de la estación propuesta por la asociación británica estaba compuesta de forma esquemática por los siguientes elementos enlazados:

- **(a)** Una antena directiva optimizada para la banda de VHF.
- **(b)** Un conversor de bajo ruido de VHF a una frecuencia intermedia de HF.
- **(c)** un receptor de comunicaciones de alta sensibilidad.
- **(d)** Un amplificador de corriente continua para acondicionar la señal de audio.
- **(e)** Un registrador gráfico de papel continuo (*pen recorder*) para la grabación física de los picos de señal.
- **(f)** Un conmutador digital de umbral de ruido.

A nivel internacional, la red *The Global Meteor-Scatter Network*, liderada por el prestigioso astrónomo Dr. Peter Jenniskens, se consolidó como una de las primeras mallas globales de estaciones automatizadas dedicadas al conteo continuo de meteoros. Este hito histórico fue posible gracias a una alianza estratégica entre un consorcio de observadores aficionados avanzados y el programa de Astronomía y Atmósferas Planetarias de la NASA (*NASA Research*), sentando las bases de la monitorización radio meteórica moderna.

Evolución de la observación radio en nuestro país.

Durante la década de los 80, la participación a nivel nacional era todavía muy incipiente; en mi caso[24], se limitaba a procesar y enviar de forma regular por correo postal los resúmenes y estadísticas de los comunicados que iba logrando por *Meteor Scatter* a la sección especializada de la *British Meteor Society*.

No fue hasta el mes de abril de 1993, durante las famosas *Jornadas Astronómicas sobre Materia Interplanetaria* desarrolladas en el Planetario de Castellón, cuando se presentó un primer estudio sistemático de ámbito nacional sobre las observaciones por radio de corrientes meteóricas, a cargo de Domingo Doreste. La arquitectura de estación propuesta por Doreste estaba basada estrictamente en las recomendaciones internacionales de la IMO (*International Meteor Organization*), describiéndose de la siguiente manera:

> *«... Los sistemas integrantes son una antena receptora*

[24] **Enrique Fraile Algeciras**, *Historia de los observadores de radio en España, Revista Meteors* · 1 de junio de 2024.

Yagi de 4 elementos directores; un sintonizador con salida, por un lado, a un bloque amplificador con el consiguiente altavoz y, por otro lado, se utiliza la salida del S-meter del sintonizador para excitar a un circuito detector de picos de señal, el cual a su vez ofrece una salida al puerto paralelo de una computadora personal.

Al mismo tiempo, los impulsos de señal llegados al detector de picos son convertidos de analógico a digital por un sistema conversor de señal (ADC), el cual envía los datos en un protocolo de 8 bits a otro puerto paralelo del ordenador. Mediante el software adecuado se podría visualizar posteriormente en pantalla el pico de señal recibido...»

En ese mismo año 1993, el experimentado aficionado Xavier Condeminas Tejel (EA3DBQ) montó un sofisticado radio observatorio compuesto por los siguientes elementos enlazados:

- Un grupo enfasado de 4 antenas Yagi de 9 elementos con polarización horizontal.
- Un preamplificador de recepción de bajo ruido con 24 dB de ganancia.
- Una línea de bajada coaxial de 50 metros de cable de media pulgada (1/2").
- Un conversor de frecuencia de 144 MHz a 28 MHz.
- Un receptor de comunicaciones para la banda de 28 MHz.

- Un circuito separador/integrador de señal de diseño propio.
- Un conversor analógico/digital (ADC) de 12 bits.
- Un ordenador personal compatible PC 286 operando a 12 MHz.

Condeminas experimentó de forma intensiva durante los máximos de las lluvias de las Perseidas y las Gemínidas en la frecuencia de 144.100 MHz, que en aquella época constituía el centro de actividad neurálgico para el *Meteor Scatter* de los radioaficionados de toda Europa.

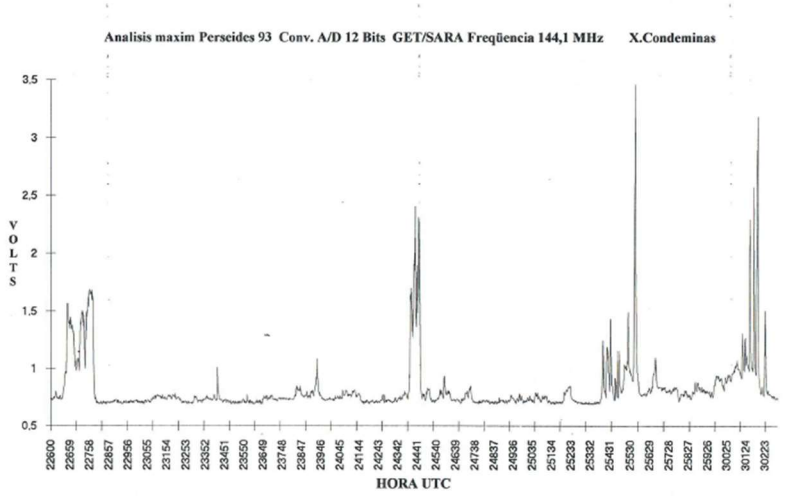


***Ilustración 38**. Gráfica de picos en pantalla durante la recepción automatizada de meteoros en la lluvia de las Perseidas de 1993 (Estación EA3DBQ).*

Coincidiendo también con las Perseidas de 1993, por mi parte decidí explorar una vía analógica alternativa para

monitorizar y registrar físicamente las reflexiones de la actividad de *Meteor Scatter* empleando un grabador térmico de papel continuo. La señal de audio filtrada del receptor se inyectaba directamente a un registrador electromecánico dotado de un lápiz térmico. Este dispositivo registraba sobre el papel termosensible, de forma ininterrumpida y lineal, los diferentes niveles de los bursts generados por las estaciones europeas en la citada frecuencia de 144.100 MHz.

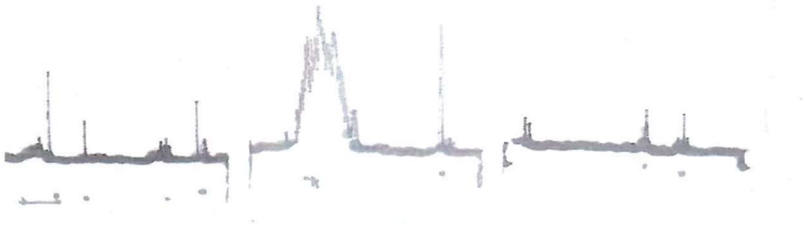


Ilustración 39. *Registro real en papel térmico de señales de telegrafía (CW) por reflexión meteórica en 144.100 MHz.*

En el año 1994, aprovechando el despliegue e instalación de la baliza experimental del GET en la frecuencia de 144.477 MHz, Xavier Condeminas pudo ir un paso más allá y estudiar en profundidad la evolución de las Gemínidas mediante el análisis de las reflexiones recibidas por la técnica de *Back Scatter* (dispersión hacia atrás).

Ya en el año 1995, inició formalmente su andadura la Comisión de Observaciones de la sociedad astronómica

SOMYCE, formada originalmente por tres miembros pioneros: José Ponce Tórtola (desde Valencia), Julián Francés Hernández y Domingo Doreste González (ambos desde Gran Canaria). En sus primeros compases, los esfuerzos del grupo se centraron en una fase puramente experimental de estudio, calibración y aplicación de nuevas metodologías e instrumentación de radio.

Ese mismo año de 1995, yo también comencé a realizar mis primeras pruebas de detección automatizada de meteoros utilizando un conversor analógico/digital (ADC) ensamblado de forma casera sobre una placa de pruebas o *«protoboard»*. Aunque el sistema era inestable a nivel electrónico y sufría frecuentes pérdidas de datos debido a la falta de blindaje, logré registrar con éxito los impactos de varias Gemínidas.

En el año 1996, el prestigioso astrónomo y astrofísico Josep Maria Trigo i Rodríguez publicó su obra de referencia *«Meteoros: Fragmentos de cometas y asteroides»*, donde incluyó una extensa y rigurosa explicación sobre los sistemas de detección de meteoros mediante el método de *Forward Scatter* básico. En dicho texto, el autor rememoraba sus primeras experiencias prácticas realizadas en enero de 1991:

> *«... Las experiencias realizadas por el autor durante 1991*

muestran que este contacto es muy corto y sólo permite escuchar un breve fragmento musical, una voz, un sonido que aumenta, etc. Ello dependerá de la señal emitida en ese momento por la estación emisora distante...»

Aquellas pruebas pioneras de Trigo se centraron en captar señales reflejadas aprovechando la saturada banda comercial de radiodifusión en FM (87.5 - 108.0 MHz) mediante el uso de una antena Yagi de 4 elementos. En su monográfico, destacaba que los miembros de la *International Meteor Organization* (IMO) ya se encontraban trabajando en proyectos avanzados de radio con el fin de extraer información científica de altísimo valor a partir de los rastros meteóricos, tales como la distribución exacta de la densidad lineal de electrones a lo largo del trazo, la tasa de difusión de la ionización mesosférica o los efectos de los campos electromagnéticos terrestres sobre la estela.

A la luz de estas crónicas, se hace evidente que uno de los principales escollos de esos años era la extrema dificultad para disponer de una frecuencia portadora limpia y fija que permitiera una observación continua. La gran mayoría de los ensayos se realizaban en la banda comercial de FM, pero esto suponía un grave problema para aquellos observatorios que pretendían ubicarse en el entramado de las grandes ciudades, debido a la saturación de las emisoras locales y la imposibilidad de escuchar estaciones distantes

tras el horizonte.

Por otra parte, las señales generadas por los propios radioaficionados solo se podían aprovechar en fechas muy concretas de grandes lluvias y no servían para generar estadísticas continuas durante los 365 días del año. Otras fuentes alternativas, como las balizas de telegrafía de los radio clubs o los radiofaros de navegación para la aviación civil, carecían de la potencia de emisión necesaria para generar reflexiones continuas explotables en distancias medias.

Ante este panorama, la solución definitiva llegó en el año 1997. Aprovechando los sistemas radiantes directivos de los que disponía para la banda de 50 MHz en mi QTH de Torrelles de Llobregat, Barcelona (coordenadas astronómicas: (41º 21'N, 01º59'E), decidí utilizarlos de forma innovadora para sintonizar de forma continua la señal de la potente portadora de vídeo de **48.250 MHz**, correspondiente al canal C2 de la televisión pública checa emitido desde la localidad de České Budějovice. Esta estación transmitía de forma ininterrumpida con una potencia descomunal de **100 kW** y polarización horizontal. Gracias a esta formidable portadora de referencia, logré montar lo que considero mi primer radio observatorio de meteoros

propiamente dicho.



Ilustración 40. *Vista de las antenas y el equipamiento que componían mi primer radio observatorio automatizado.*

La arquitectura de este primer observatorio de Torrelles estaba compuesta por una robusta antena de 6 elementos optimizada para la banda de 6 metros instalada a una altura de 20 metros sobre el nivel del suelo, un conversor de frecuencia de diseño artesanal de 48 MHz a 28 MHz y, como receptor principal de línea, un transceptor Kenwood TS-830S.

La señal de audio filtrada de la portadora de vídeo se hacía pasar a través de un filtro analógico de banda estrecha de apenas 100 Hz y se inyectaba directamente al ordenador en tiempo real. Para el procesamiento de datos, empleaba una placa de adquisición analógico/digital (ADC) de 14 bits gobernada por el software *«Data Capture»*, el cual estaba programado para registrar y almacenar de forma automática todas aquellas reflexiones meteóricas cuya duración

superara el umbral crítico de los 0,5 segundos.

Tras el éxito de los primeros resultados obtenidos, en el año 1998 el observatorio fue trasladado a los laboratorios de la Escuela de Telecomunicaciones de La Salle (Universidad Ramon Llull) en Barcelona. Aunque la configuración general del hardware se mantuvo idéntica, se optó por sintonizar un centro emisor de televisión diferente. En este caso, se eligió el transmisor alemán ubicado en la ciudad de Biedenkopf, el cual emitía en el canal C2 de la Banda I con una portadora de vídeo desplazada exactamente a la frecuencia de **48.24715 MHz**.

Durante este fructífero periodo académico, se comenzaron a detectar algunos fallos intrínsecos del sistema. El principal problema estaba generado por la severa contaminación radioeléctrica y el ruido electromagnético ambiental propios de una gran urbe como Barcelona, lo que obligó al equipo a diseñar e implementar filtros analógicos específicos para mejorar el umbral de detección e incrementar la sensibilidad del receptor.

Otro desafío técnico de gran calado surgía durante la época estival: las intensas aperturas de propagación esporádica E y los fenómenos F.A.I. (*Field Aligned Irregularities*) enmascaraban por completo los registros diarios, haciendo sumamente compleja la tarea de discriminar de

forma automatizada entre estas aperturas ionosféricas masivas y las reflexiones genuinas provocadas por los meteoros.

Durante los años comprendidos entre 1999 y 2004, el observatorio permaneció activo en las instalaciones de La Salle. Fue en esta etapa cuando se inició una intensa generación de documentación científica y de promoción de la radioastronomía amateur mediante la publicación de artículos y la impartición de conferencias, colaborando estrechamente con la propia universidad, así como con el RMOB (*Radio Meteor Observations Bulletin*), SOMYCE y otras asociaciones internacionales.

Fruto de encontrarse ubicado en una escuela técnica de ingeniería, el observatorio sirvió de base para el desarrollo de diferentes proyectos de final de carrera sobre esta materia. El más exitoso y revolucionario de todos ellos fue, sin lugar a duda, el desarrollado por el estudiante **Carlos Luis Gómez Lucía** en el año 2000. Su proyecto consistió en el desarrollo integral de una aplicación informática a medida encargada de gestionar el sistema de adquisición y procesado de datos en tiempo real.

Aquel software permitía tener un control absoluto sobre los parámetros de la tarjeta de adquisición (encendido y apagado automatizado, variación dinámica de la

frecuencia de muestreo e incremento del número de muestras a procesar). Además, era capaz de visualizar la señal de entrada tanto en el dominio del tiempo como en el de la frecuencia —actuando como un analizador de espectros clásico—, calibrar los niveles y márgenes de detección de los meteoros y almacenar automáticamente en el disco duro tanto los ficheros de datos estadísticos como las grabaciones de audio real de los ecos captados. El desarrollo de este software marcó un hito histórico en el observatorio, elevando drásticamente la fiabilidad de las lecturas y permitiendo, por primera vez, un estudio global e individualizado de cada meteoro cazado.

En el año 2004, las instalaciones del observatorio fueron trasladadas al Centre de Meteorologia de l'Alt Camp, situado en las coordenadas geográficas de Valls (41º17'N, 01º15'E)). Este radio observatorio permaneció operativo de forma ininterrumpida hasta septiembre de 2011, fecha en la que se produjo el apagón analógico definitivo y el cierre total de las emisiones de televisión en la mítica Banda I en todo el continente europeo. Durante esos siete años de actividad continua, el observatorio no dejó de aportar datos diarios al boletín internacional RMOB y sirvió para monitorizar con precisión la evolución de las principales lluvias anuales.

Abro aquí un obligado paréntesis para relatar una anécdota personal que, hoy en día, me sigue pareciendo verdaderamente increíble. En ese mismo año 2004, se puso en contacto conmigo una virtuosa flautista estadounidense afincada en Barcelona: **Barbara Held**. Me propuso un proyecto fascinante: utilizar el sonido real de los meteoros captados por nuestro observatorio en tiempo real para integrarlos dentro de una *performance* de música contemporánea de vanguardia.

Al principio, confieso que me costó creerlo, pero la propuesta iba totalmente en serio, ya que en los círculos de la música experimental de la época era tendencia realizar composiciones basadas en fenómenos de la naturaleza. Al comprobar la viabilidad técnica del proyecto, configuramos un servidor de streaming de audio dedicado que permitía conectarse de forma remota al observatorio y reproducir los sonidos de los *bursts* en directo dentro de una sala de conciertos. La artista realizó un par de actuaciones memorables. Aunque el sistema de enlace de audio era complejo de mantener en marcha de forma permanente y finalmente tuvimos que desistir de prolongar el proyecto, el **7 de octubre de 2004**, durante el *V Festival Internacional de Investigación Artística de Valencia* (celebrado en el Museo de las Ciencias Príncipe Felipe), tuvo lugar el primer concierto de flauta del mundo acompañado en vivo por el

sonido de los meteoros en tiempo real.

Según se podía leer textualmente en el programa de mano del certamen:

> *«SVAR/SVARA es una instalación de luz y sonido cuyo ritmo está dictado por una señal en tiempo real enviada desde el Radio Meteor Observatory de la Estació Agrometeorològica de l'Alt Camp, situada en Valls. En el título fusionamos los conceptos de luz y sonido, tomando prestada la relación del sutil juego de palabras y fonemas de la antigua tradición india, para referirnos a las maneras en que estas dos energías creativas fundamentales se enlazan de forma pura más allá del propio lenguaje».*

Tras este concierto, pude constatar con orgullo que los meteoros también son capaces de generar arte. Y cerrado este entrañable paréntesis, retomamos nuestra evolución cronológica.

En el año 2005, Orlando Benítez comenzó a realizar sus primeras pruebas de recepción de radio meteoros en la banda comercial de FM desde Las Palmas de Gran Canaria, aunque inicialmente con escaso éxito debido a la saturación del espectro. No fue hasta mediados de abril de 2006 cuando Orlando logró incorporarse con éxito al reducido grupo de observadores nacionales activos. Para ello, consiguió sintonizar las transmisiones del centro emisor de

Lousã pertenecientes a la RTP1 (Canal 1 de la Radio Televisión de Portugal), cuya portadora de vídeo emitía en la frecuencia de 55.2494 MHz. La estación canaria utilizaba para la escucha un receptor ICOM IC-R7000 conectado mediante un cable estéreo a una tarjeta de sonido *Sound Blaster Vibra* de 16 bits PnP, empleando como sistema radiante una antena Yagi de 5 elementos.

Hacia el año 2010, **Miguel Ángel Vallejo (EA4EOZ)** comenzó a realizar observaciones sistemáticas de radio meteoros utilizando en sus inicios las transmisiones remanentes de los canales de televisión en la banda de VHF. Sin embargo, debido a las constantes aperturas de propagación estival que afectaban de forma impredecible a estas bandas bajas (tales como propagación troposférica, esporádica E o reflexiones en la capa F2), decidió reorientar sus experimentos hacia las señales del radar militar francés **GRAVES**. Al operar este radar en una frecuencia notablemente más alta (143.050 MHz), las señales de eco no se veían alteradas por este tipo de aperturas ionosféricas espurias.

En los años sucesivos, Vallejo, trabajando de forma conjunta y coordinada con otros dos conocidos radioaficionados —**Iban Cardona (EB3FRN)** y **David Cardeñosa (EA1FAQ)**—, se propuso el ambicioso reto científico de

intentar determinar el cálculo tridimensional de las trayectorias de los meteoroides. Para lograr este fin con precisión matemática, era un requisito indispensable que los tres observatorios distribuidos geográficamente registraran de forma simultánea el impacto del mismo meteoro exacto. Los espectaculares resultados de esta investigación cooperativa se expusieron de forma pública en su plataforma web y se plasmaron en un detallado artículo técnico aparecido en el número 56 de la revista *Meteors* en junio de 2016.

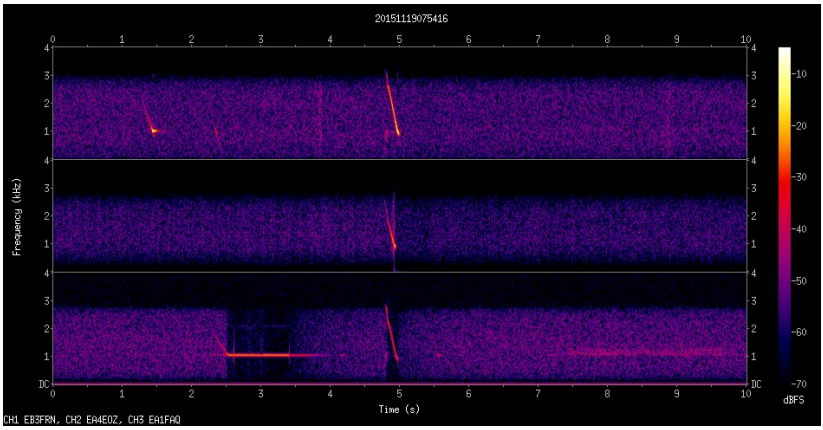


Ilustración 41. *Imagen espectral que demuestra la coincidencia exacta y simultánea de una reflexión meteórica captada de forma coordinada en los tres observatorios de la red.*

Finalmente, hacia el año 2018, otro destacado radioaficionado, **Lorenzo Morillas (EA7GA)**, se incorporó de forma activa al grupo de entusiastas de la recepción de meteoros

por radio. Para desplegar su estación de escucha automatizada, Morillas utilizó su propio equipo de radioaficionado convencional, compuesto por un transceptor QRP Yaesu FT-817 sintonizado de forma fija en la frecuencia del radar GRAVES y conectado a una antena colineal de 8 dBi de ganancia. El procesamiento y almacenamiento continuo de los datos horarios de los impactos se realizaba de forma digital mediante el uso del software especializado **HROFFT**.

Y, finalmente, hacia el año 2022, la *Red de Detección de Meteoros y Bólidos de la Universidad de Málaga* (UMA) desplegó la primera red científica universitaria de radio observatorios en nuestro país. Esta red utiliza de forma sistemática las potentes transmisiones del radar militar francés GRAVES para monitorizar, trazar y estudiar la entrada de los meteoroides en la atmósfera terrestre.

Mientras esto sucedía a nivel nacional, en el resto del mundo —y muy especialmente en Europa— han ido floreciendo diversos proyectos institucionales liderados por observatorios astronómicos profesionales, los cuales se sustentan en una estrecha y valiosa colaboración con los radioaficionados locales para la construcción, calibración y mantenimiento técnico de dichas estaciones de escucha.

Conviene recordar el gran desafío técnico que supuso el

final del año 2012. En esa fecha, se completó de forma masiva la transición global de la televisión analógica hacia la Televisión Digital Terrestre (TDT). Este cambio supuso un verdadero dolor de cabeza para todos los radio observatorios amateurs que utilizábamos como balizas de referencia las potentes portadoras de vídeo de los transmisores de televisión comercial en la Banda I de VHF (segmento de 47 a 68 MHz). El elevado número de estos centros emisores repartidos por toda Europa, sumado a las descomunales potencias que empleaban para radiar su señal, los convertía en portadoras idóneas para el registro continuo de datos.

Tras el apagón analógico, la única alternativa aparente consistía en utilizar las portadoras de la banda comercial de Frecuencia Modulada (87.5 a 108.0 MHz). Este método podía llegar a funcionar si la ubicación geográfica del observatorio se encontraba muy aislada y lejos de los grandes centros urbanos; solo bajo esa premisa era posible captar reflexiones distantes en canales limpios. Sin embargo, para todos aquellos que vivíamos en ciudades o en las inmediaciones de un reemisor, la tarea se volvía físicamente imposible debido a la saturación extrema de señales locales y al elevadísimo suelo de ruido existente en la banda de FM.

Por otra parte, se tuvieron que descartar otras señales alternativas del espectro: las balizas de telegrafía de los propios radioaficionados carecían de la potencia suficiente y empleaban antenas omnidireccionales no aptas para el Forward Scatter continuo, y las señales de los radiofaros de navegación aeronáutica VOR en VHF adolecían exactamente del mismo problema. Ante este escenario, la solución pasaba inevitablemente por instalar un transmisor de uso exclusivo para la monitorización científica de meteoros o bien buscar una fuente externa de gran energía.

Fue en medio de esta encrucijada cuando la comunidad descubrió la existencia de un radar militar en Francia que transmitía con una potencia equivalente a megavatios y que operaba en una frecuencia ideal: el ya célebre radar **GRAVES** (*Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale*).

Desarrollado y operado por la ONERA (*Oficina Nacional de Estudios e Investigaciones Aeroespaciales* francesa), este sistema está diseñado para la detección y seguimiento de satélites espaciales y basura orbital que orbitan sobre territorio francés a altitudes de entre 400 y 1000 km. La estación transmisora está ubicada en la antigua base militar de Broyes-les-Pesmes (coordenadas 47° 20′ 49″ N, 5° 30′ 49″ E), mientras que el complejo receptor se sitúa cerca de Revest-du-Bion, en la meseta de Albion (44° 04′ 14″ N, 5°

32′ 04″ E).



***Ilustración 42**. Ubicación geográfica de los emplazamientos del transmisor y del receptor del radar militar francés GRAVES.*

El transmisor emite una portadora continua (CW) en la frecuencia exacta de **143.050 MHz** a través de cuatro grandes paneles de antenas en fase que cubren un azimut de 180° con una inclinación fija hacia el espacio de 30°; cada panel cubre un sector de 45°. Por su parte, el receptor está compuesto por una gran disposición circular de 80 metros de diámetro que alberga un centenar de antenas omnidireccionales. Mediante un sofisticado sistema de computación y desfase de los haces (*beamforming*), el receptor es capaz de generar simultáneamente 1200 lóbulos de

escucha dirigidos hacia la bóveda celeste.

Mientras este radar permanezca operativo, constituye la fuente fundamental de monitorización para decenas de radio observatorios europeos de VHF. Sin embargo, cabe hacerse una pregunta obligada de cara al futuro de nuestra afición: ¿qué sucederá el día en que el radar GRAVES deje de transmitir definitivamente?

RMOB (*Radio Meteor Observations Bulletin*)

El boletín RMOB es una iniciativa internacional e independiente que agrupa a colaboradores de todo el mundo dedicados a la observación de meteoros mediante técnicas de radioenlace y al procesamiento informático de datos. El proyecto nació originalmente en agosto de 1993 con el fin de difundir de forma rápida por correo electrónico los resultados estadísticos obtenidos por diversos operadores durante el máximo de las Perseidas de aquel año. Desde entonces, se publica de forma ininterrumpida con carácter mensual, ampliando gradualmente su alcance y prestigio internacional.

La publicación periódica de estos resúmenes permite mantener perfectamente informados a los observadores sobre las tecnologías disponibles, así como trazar las posibilidades y limitaciones reales de esta técnica. A largo plazo, el

objetivo del RMOB es contar con una malla de estaciones de escucha tan densa que cubra la totalidad del globo terráqueo; esto permitiría detectar aumentos repentinos y anomalías en la actividad de lluvias meteorológicas que podrían pasar completamente desapercibidas para la observación visual óptica tradicional debido a las nubes o a la luz diurna.

Por lo general, cada boletín mensual del RMOB incluye:

- Resúmenes detallados de las observaciones del mes anterior.
- Fichas técnicas sobre el equipamiento y antenas de las nuevas estaciones.
- Primeros resultados de la actividad de los enjambres obtenidos por radiofrecuencia.
- Estudios comparativos entre meteoros detectados por radio y por medios ópticos (vídeo o visual).
- Referencias bibliográficas a publicaciones científicas sobre astronomía meteórica.
- Anuncios de congresos, secciones de preguntas y respuestas, y enlaces a webs de interés.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Tuve la inmensa suerte de colaborar de forma activa con el boletín RMOB aportando mensualmente los datos estadísticos generados por mi*

propia estación desde el año 1997, una colaboración continuada que mantuve de forma ininterrumpida hasta que el apagón de la televisión analógica en la Banda I forzó el cierre de mi observatorio.

Algunos Radios Observatorios

Ham-Band Radio Observation (HRO)

La red coordinada más antigua y persistente del mundo es la diseñada por los radioastrónomos amateurs japoneses, denominada HRO (Ham-Band Radio Observation). Este ingenioso sistema se sustenta en un transmisor de referencia central ubicado en la ciudad de Fukui, el cual emite una portadora continua (CW) en la frecuencia de 53.750 MHz. A lo largo y ancho de la geografía de Japón, una densa red de estaciones esclavas recibe de forma continua los ecos reflejados de esta señal utilizando receptores de conversión directa de bajo coste diseñados específicamente para esta frecuencia. Para el procesamiento y reducción automática de los datos horarios, emplean el célebre software HROFFT, desarrollado originalmente por el ingeniero K. Ohkawa.

Vereniging Voor Sterrenkune (VVS)

Aunque existen diversas iniciativas y balizas operando en Europa en el entorno de la frecuencia de 49.990 MHz, la

red más sólida y conocida es la de origen belga. El 16 de abril de 2005, este proyecto inauguró una baliza experimental que transmite de forma ininterrumpida en la frecuencia de **49.990 MHz** con una potencia de **50 W**. El transmisor fue construido artesanalmente por Gaspard De Wilde (ON4ZK), basándose en un proyecto promovido y financiado por la *Vereniging Voor Sterrenkunde* (VVS), que se consolida como la asociación de astronomía amateur más importante y prestigiosa de Bélgica.

Si bien es cierto que la moderada potencia de emisión de esta baliza dificulta notablemente su recepción para aquellas estaciones situadas a distancias superiores a los 500 o 600 km de la frontera belga, constituye una herramienta de inestimable valor científico para todos los observatorios ubicados dentro de su radio de cobertura directa en el centro de Europa.

BRAMS (Belgian Radio Meteor Stations)

Otra gran iniciativa científica de origen belga, nacida en septiembre de 2010, es la promovida por la red **BRAMS** (*Belgian Radio Meteor Stations*). Este proyecto está coordinado y gestionado de forma conjunta por el *Belgian Institute for Space Aeronomy* (BISA) y el STCE (*Solar-Terrestrial Centre of Excellence*).

Su transmisor principal está ubicado en las instalaciones del Centro de Geofísica del Globo en la localidad de Dourbes, emitiendo una portadora continua (CW) en la frecuencia de **49.970 MHz** con una potencia de **150 vatios**. En la actualidad, existe un vastísimo número de radio observatorios automatizados a lo largo de toda Europa que utilizan esta baliza de referencia para sus estudios estadísticos y matemáticos de la alta atmósfera.

SPADE (Small Phased Array DEmostrator)

Localizado en la Estación de Radioastronomía de Humain (Hu-RAS), en el sur de Bélgica, el sistema **SPADE** (*Small Phased-Array DEmostrator*) monitoriza de forma automatizada la actividad radioeléctrica solar en el espectro comprendido entre los 20 y los 80 MHz. Dado que el rango de esta operación incluye de forma nativa las frecuencias de la citada baliza BRAMS, cuando el Sol se encuentra en periodos de inactividad el sistema reorienta sus algoritmos hacia la detección y análisis de meteoros.

La arquitectura de SPADE consiste en una formación enfasada de ocho antenas de banda ancha que operan como un radiotelescopio digitalizado mediante técnicas avanzadas de conformación de haces (*beamforming*). Las antenas están conectadas de forma directa a dos receptores de radio de alta gama definidos por software Ettus USRP X300,

y cada equipo está dotado a su vez de dos placas hijas TwinRX de canales gemelos. Esta configuración produce cuatro canales coherentes por receptor, cada uno de ellos con capacidad para procesar señales a una tasa de muestreo brutal de 200 MS/s, con una resolución de 14 bits y un ancho de banda de análisis de 80 MHz.

Observatorios avanzados basados en el radar GRAVES

Bolidozor

Bolidozor es una densa red de radio observatorios de origen checo de código abierto que utiliza las potentes transmisiones del radar militar francés GRAVES como portadora de referencia. La red está centralizada en la monitorización continua de meteoros, el cálculo automatizado de trayectorias tridimensionales de meteoroides y, potencialmente, el rastreo geográfico para la detección de impactos de fragmentos que logren sobrevivir a la fricción y alcancen la superficie terrestre en forma de meteoritos.

Para recibir las señales de dispersión dispersas en el espacio por los meteoros, las estaciones de la red emplean el hardware de recepción modular MLAB RMDS. Utilizando una configuración de software estándar, la sensibilidad de estas estaciones alcanza un umbral extraordinario de **-135**

dBm, quedando el rango dinámico del conjunto limitado únicamente por las especificaciones físicas de la tarjeta de sonido empleada para la digitalización (cuyo muestreo habitual está estandarizado en 16 bits a 96 kHz). Una estación base simple, equipada únicamente con una antena omnidireccional de tipo *Ground Plane* (plano de tierra) y esta configuración de bajo coste, es capaz de registrar un promedio diario de alrededor de **1000 meteoros**.

Para permitir el cálculo trigonométrico preciso de órbitas mediante multilateración, todas las estaciones de la red Bolidozor están estrictamente sincronizadas en el tiempo mediante señales horarias de **GPS**, alcanzando una precisión de desfase temporal de apenas **65 ns (nanosegundos)**. Esta señal de referencia se aprovecha, además, para monitorizar y calibrar de forma continua la estabilidad y deriva térmica de los osciladores locales de los receptores, midiendo su frecuencia con una resolución matemática de 0,1 Hz.

Las salidas de datos se generan de forma estandarizada en formato astrofísico FITS con algoritmos de compresión RICE, almacenándose tanto en forma de señales muestreadas puras en el dominio del tiempo como en los correspondientes espectrogramas de Transformada Rápida de Fourier (FFT). Todos los datos adquiridos se vuelcan de

forma pública y libre en el servidor central de la red. Las grabaciones de los eventos se disparan automáticamente basándose en la medición continua de la intensidad de la señal en el dominio de la frecuencia, siempre que esta supere un umbral de ruido previamente determinado por el operador.

FRIPON (*Fireball Recovery and InterPlanetary Observation Network*)

El proyecto científico internacional **FRIPON** representa una red de vanguardia que agrupa de forma coordinada diversas mallas nacionales. Todas sus cámaras de vídeo de cielo completo (*all-sky*) están monitorizadas y controladas de manera remota por el *Service Informatique Pythéas* (SIP) de la Universidad de Aix-Marsella (Francia), institución que mantiene la infraestructura con el soporte directo de un equipo científico multidisciplinar. Todos los datos ópticos recopilados por la red se almacenan y procesan de forma centralizada en Marsella. El procesamiento diario de los datos consiste en la reducción astrométrica y fotométrica mensual de las imágenes de calibración y el análisis automatizado de las detecciones múltiples simultáneas.

Dos grandes bases de datos gestionan esta ingente cantidad de información: una almacena los datos brutos (*raw data*) de vídeo y la otra procesa datos de nivel superior,

tales como el cálculo de órbitas heliocéntricas y trayectorias de entrada. Estos datos están disponibles sin restricciones para todos los coinvestigadores de la red científica.

Además de las cámaras y observaciones ópticas tradicionales, la red FRIPON explota con gran éxito la potente señal del radar francés GRAVES. Para ello, disponen de **25 estaciones de radio específicas** distribuidas con una distancia media de separación de unos 200 km entre sí, ubicadas principalmente en Francia, pero extendiéndose también a través de Bélgica, el Reino Unido, Italia, Suiza, **España** y Austria.

CARMELO (Cheap Amateur Radio Meteor Echoes Logger)

La red **CARMELO** es un innovador proyecto cooperativo italiano impulsado originalmente por el colectivo *Astrofili a Bologna*. El sistema se sustenta en el despliegue de receptores digitales basados en **tecnología SDR de bajo coste** que, a pesar de su extrema sencillez y asequibilidad económica, demuestran un potencial científico asombroso para la monitorización de meteoros mediante el método de *Forward Scatter*.

El software de CARMELO mide y representa gráficamente las formas de onda y el desplazamiento espectral de cada

eco de radio recibido con un nivel de detalle visual nunca visto en la astronomía amateur. El sistema analiza de forma automática el denominado **«eco de cabeza» (head echo)** del meteoro cuando este se produce, aislando y destacando su drástico desplazamiento por efecto Doppler. A partir de estos datos, el manual del proyecto describe una metodología matemática precisa para calcular la velocidad real de entrada del meteoro basándose en la distancia ortodrómica recorrida por el eco de radio a través del elipsoide.

Asimismo, la plataforma web del proyecto muestra la superposición exacta de las mediciones físicas realizadas sobre el mismo evento meteórico por diferentes observadores remotos mediante el registro coordinado de la secuencia temporal. A partir de los tiempos de retraso relativos grabados por cada estación individual, la red plantea un sólido método para inferir el vector de velocidad del meteoroide. En su portal web oficial se pueden consultar en tiempo real todas las estadísticas globales, las observaciones individuales de cada estación, las publicaciones científicas derivadas del proyecto y una ingente cantidad de documentación técnica.

> 💡 ***Nota práctica del autor:*** *Desde el mes de junio de* ***2026****, tengo la inmensa fortuna de participar de forma*

activa en este apasionante proyecto internacional. Para ello, he desplegado una estación de escucha totalmente autónoma instalada y operativa en las dependencias del ***Radio Club La Salle (EA3RKL)*** *de la Universidad Ramon Llull en Barcelona, aportando datos diarios de coincidencia a la red europea.*

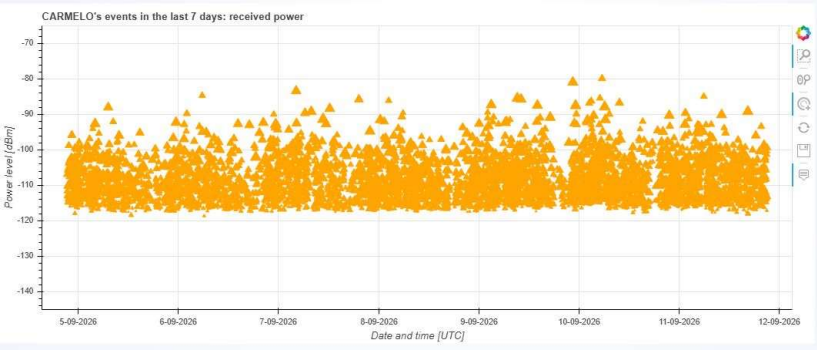


Ilustración 43. *Resumen estadístico de los datos diarios de radio meteoros generados desde la estación de CARMELO en el observatorio de Barcelona.*

Otras iniciativas y consideraciones técnicas

Existen innumerables iniciativas y estaciones individuales desplegadas alrededor del radar francés GRAVES. Sin embargo, este planteamiento presenta un único e importante inconveniente: la dependencia absoluta de su funcionamiento operativo. En los momentos en que el sistema militar detiene sus emisiones por averías técnicas o por labores de mantenimiento programadas, todas estas redes de

aficionados dejan de recibir datos de forma instantánea. Asimismo, es imperativo tener en cuenta que el radio de acción geométrico útil de estas iniciativas está limitado por la propagación a una distancia máxima de **alrededor de 1500 km** del transmisor de Broyes-les-Pesmes, lo que restringe el uso para aquellos aficionados ubicados fuera de esta huella de cobertura geográfica (*footprint*).

Mantener este tipo de observatorios en el tiempo requiere un esfuerzo humano, dedicación y una financiación económica constantes. Por este motivo, muchos proyectos de gran valor histórico acaban lamentablemente quedando en pausa o siendo descartados por completo. Un ejemplo icónico de esta realidad es el proyecto **Meteorscan**. Debido a los importantes incrementos en los costes operativos y de personal, tras doce años de intachable funcionamiento continuo, el grupo se vio obligado a suspender su actividad a la espera de encontrar una fuente de financiación estable.

Meteorscan estaba constituido por un grupo de astrónomos aficionados y entusiastas de la radio del suroeste de Inglaterra con un profundo interés en la radioastronomía. Disponían de varias estaciones remotas enlazadas que aportaban datos continuos y se encontraban inmersos en el desarrollo de un software de investigación para

interpretar y validar datos históricos. En la web oficial del grupo, se podían consultar libremente las reflexiones y los espectros captados del radar GRAVES en tiempo real.

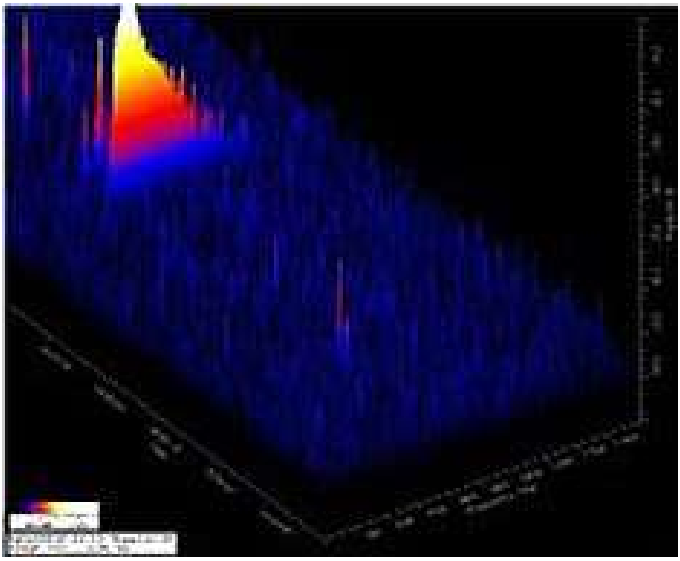


Ilustración 44. *Visualización del espectro en tiempo real que se podía consultar de forma pública en la web de Meteorscan*

Frente a estas dificultades, en el **Radio Club La Salle (EA3RKL)** mantenemos operativo desde hace muchos años un receptor digital conectado de forma permanente a la red de receptores **WebSDR**, sintonizado fijamente en la frecuencia de 143.050 MHz del radar GRAVES. Este receptor remoto de acceso público se puso en marcha con la firme y única finalidad de tender una mano y ayudar a todos aquellos aficionados que deseen introducirse en la

observación de radio meteoros sin necesidad de realizar inversiones económicas iniciales en antenas o equipos.

Asimismo, este WebSDR constituye una herramienta complementaria idónea para realizar el seguimiento y la observación de los máximos de las grandes lluvias anuales de forma remota desde la comodidad de casa, especialmente en aquellos días en los que las condiciones climatológicas adversas o las obligaciones personales nos impiden salir al campo a realizar observaciones visuales ópticas tradicionales.

Por último, consideramos que representa la vía más sencilla, didáctica y directa para iniciarse en esta apasionante disciplina científica. Debido a su extraordinaria comodidad de uso a través del navegador de Internet, se consolida como un recurso pedagógico de primer orden, ideal para su utilización en la enseñanza escolar, talleres universitarios, ferias técnicas o en cualquier evento de divulgación relacionado con la ciencia de los meteoros.

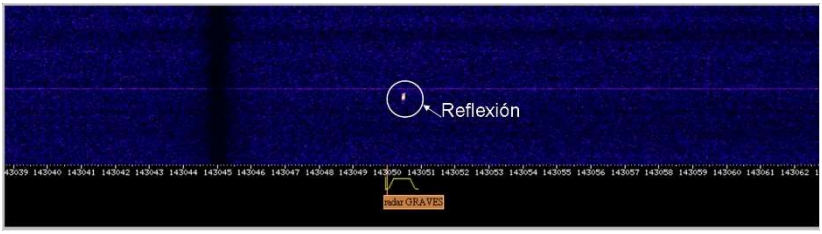


***Ilustración 45**. reflexión de un meteoro en el websdr del RadioClub La Salle*

Capítulo 7. Preguntas Frecuentes (FAQ)

Como ya se ha avanzado en las primeras páginas de este manual, soy plenamente consciente de que en esta primera versión del libro quedan todavía muchos conceptos por desgranar, detalles técnicos que matizar y experiencias que compartir. Mi firme propósito es que, con el paso del tiempo y gracias a las valiosas aportaciones, correcciones o sugerencias que me hagáis llegar a través del correo de la estación, esta obra vaya madurando y expandiéndose en futuras ediciones mejoradas.

Mientras ese proceso colaborativo avanza, he considerado que sería sumamente interesante e ilustrativo incluir un capítulo final dedicado a las preguntas frecuentes. En las siguientes páginas, he recopilado y ordenado aquellos interrogantes y dudas reales que con mayor frecuencia me han planteado los colegas de afición a lo largo de mis ponencias, conferencias y charlas técnicas en estos últimos cuarenta años. Confío en que su lectura directa sirva como el complemento final perfecto para resolver, de forma rápida y sencilla, vuestros primeros desafíos en el cuarto de radio.

¿Cuál es la máxima distancia que se consigue con el Meteor Scatter?

Es una cuestión de geometría pura aplicada sobre la

curvatura de la Tierra. Sabiendo que la altitud de la mesosfera donde se producen las estelas ionizadas transitables se sitúa fijamente entre los 90 y los 110 km de altura, el cálculo matemático del horizonte radioeléctrico nos da un **límite teórico absoluto de entre 2300 y 2500 km** de distancia ortodrómica.

A nivel personal, mi récord absoluto en esta modalidad en la banda de 2 metros está establecido en los **2022 km**, logrados el 12 de diciembre de 1987 en un comunicado en telegrafía de alta velocidad (HSCW) con **Ronny Lembke, SM7FWZ** (QTH locator JO77er), mientras yo operaba de forma portable desde Torrelles de Llobregat (JN01bi). Por el contrario, transmitiendo abajo desde el QTH urbano de la ciudad de Barcelona (JN11bi), jamás fui capaz de superar la barrera psicológica de los 2000 km debido al suelo de ruido.

Muchos operadores me diréis de inmediato: *«Pero ¿cómo es posible, si el récord de España y de Europa en 144 MHz está fijado en la asombrosa distancia de 3377 km entre EA8TJ (Canarias) y S50C (Eslovenia)?»*. Sí, el contacto existió y es completamente oficial, pero es imperativo puntualizar que **no fue un comunicado estrictamente puro de *Meteor Scatter***. Con total seguridad, en el extremo atlántico de la estación de EA8 ayudó la presencia simultánea

de una intensa inversión térmica marina o un fuerte conducto troposférico (*ducting*) sobre el océano. Esto atrapó la señal de VHF rozando el agua durante los primeros mil kilómetros del trayecto para, posteriormente, impactar contra una estela meteórica en el centro de Europa que completó el rebote hacia Eslovenia. Como anécdota, yo mismo desde Barcelona he logrado en alguna ocasión aperturas troposféricas directas con la isla de Tenerife en 2 metros.

En resumen: conseguir comunicados que superen la frontera de los 2000 km por reflexión meteórica pura es un reto extremo. Requiere obligatoriamente que ambas estaciones dispongan de un horizonte visual completamente despejado y a 0º de elevación para exprimir el último grado de la geometría del enlace.

¿Se pueden realizar comunicados con doble salto en meteoros?

Esta pregunta me la han planteado en infinidad de ocasiones y la respuesta científica es **rotundamente no**. Desde el punto de vista de las probabilidades físicas, considero que es sustancialmente más fácil que nos toque el primer premio de la lotería de Navidad antes de que logremos completar un QSO por *Meteor Scatter* mediante doble salto ionosférico.

Si ya resulta complejo coordinar la estación para que la señal rebote una sola vez en una traza efímera de milisegundos, imaginaos la carambola necesaria para que la onda de VHF saliera de nuestro transmisor, reflejara en un primer meteoro a 100 km de altura, bajara a la superficie terrestre, rebotara limpiamente en el suelo o en el mar, volviera a subir con energía suficiente hacia el espacio, impactara contra un segundo meteoro perfectamente alineado en fase y, finalmente, descendiera hacia el receptor del corresponsal. Pero es que la física del QSO no acaba ahí: para dar validez al contacto, la respuesta del corresponsal con las confirmaciones finales tendría que realizar exactamente el mismo viaje de vuelta cruzando de nuevo dos saltos en el espacio en cuestión de segundos. Es una quimera matemática inviable.

¿Qué son los HOT A o B que aparecen en el programa MSK144?

Esta es una pregunta de examen para nota, más propia de una ingeniería de telecomunicación. A mí mismo me costó muchos años de lectura comprender su funcionamiento dinámico y, dada la compleja abstracción matemática que hay detrás, explicarlo de forma sencilla también supone un gran reto pedagógico. Para entenderlo sin necesidad de fórmulas, podemos recurrir a la geometría de la reflexión

especular de las ondas de radio.

Imaginemos nuestras dos estaciones de radio, A y B, separadas por varios cientos o miles de kilómetros. Si trazamos una familia de elipses imaginarias cuyos dos focos geométricos fijos sean, precisamente, las ubicaciones de ambas estaciones, obtenemos las superficies sobre las que se cumple una distancia total idéntica entre el transmisor, el punto de reflexión y el receptor. En tres dimensiones, hablamos de un **elipsoide de revolución**.

Una estela meteórica puede actuar como espejo reflector de una onda de radio, pero no cualquier traza es útil. Para que la reflexión especular viaje con éxito desde el transmisor hasta la estación receptora, **la estela ionizada debe presentar una orientación geométrica tangente a una de esas superficies elipsoidales**. Esta condición es fundamental: una estela puede atravesar perfectamente la zona del cielo iluminada por nuestras antenas y, sin embargo, no producir ningún eco (*burst*) en nuestro receptor si su ángulo tridimensional no es el adecuado.

Aquí aparece la parte más interesante del fenómeno: **si observamos la geometría exactamente sobre el punto medio de la línea recta que une a las dos estaciones, la superficie del elipsoide exigiría una estela meteórica prácticamente horizontal para satisfacer la condición**

de tangencia. Como la inmensa mayoría de las trayectorias de los meteoros no entran en la atmósfera con esa orientación tan concreta en ese lugar exacto, la probabilidad estadística de obtener una reflexión útil en el centro exacto de la ruta es muy baja.

Sin embargo, cuando nos desplazamos lateralmente respecto a la línea directa de la ruta, la orientación de la superficie del elipsoide cambia. Existen entonces determinadas regiones en las que la trayectoria de las estelas meteóricas que llegan a la atmósfera coincide con mucha mayor frecuencia con la condición de tangencialidad necesaria para producir una reflexión especular perfecta. **Esas dos regiones laterales son los conocidos *Hot Spots* A y B**.

Por tanto, es importante entender que los *Hot Spots* A y B no son dos lugares físicos en el espacio donde caigan o se concentren más meteoros. Son, en esencia, **regiones geométricamente favorables** desde las que las estelas tienen, estadísticamente, una probabilidad muchísimo mayor de presentar la orientación matemática necesaria para que el reote de rádio alcance con energía el conector de nuestro receptor.

Las observaciones y los modelos clásicos de *Meteor Scatter* sitúan estas regiones aproximadamente a ambos lados de la línea directa del trayecto. Para enlaces de alrededor de

1000 km de distancia ortodrómica, las zonas de máxima probabilidad se encuentran del orden de un centenar de kilómetros a cada lado de la línea de enlace, aunque su posición exacta dependerá siempre de la geometría del trayecto, de la altura de la región meteórica y de la distribución estacional de las trayectorias.

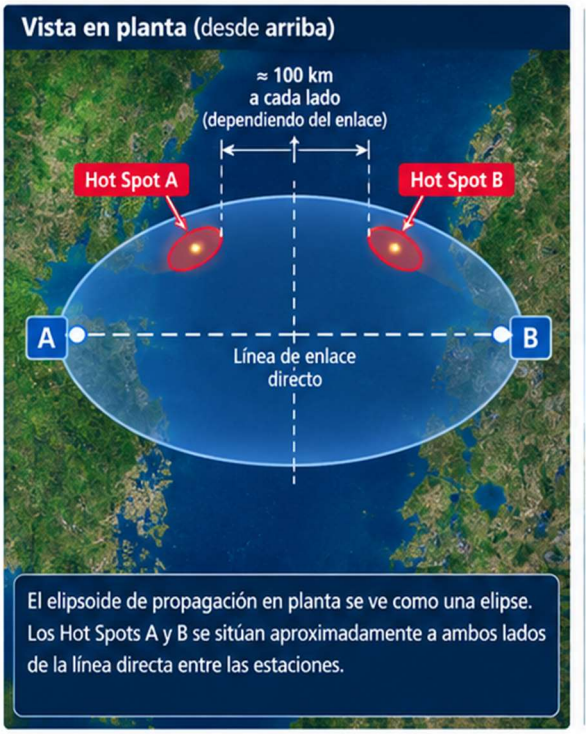


Ilustración 46. *Vista en planta del elipsoide de propagación y localización geométrica de los dos Hot Spots laterales (puntos calientes A y B).*

¿Por qué existen dos *Hot Spots* diferenciados?

Los meteoros esporádicos no ingresan en la atmósfera en una dirección completamente uniforme. La combinación de la rotación de la Tierra, su velocidad de traslación alrededor del Sol y la dirección de procedencia de las partículas espaciales hace que, estadísticamente, determinadas orientaciones vectoriales sean más frecuentes que otras. Como consecuencia, alrededor de la ruta directa aparecen estas dos regiones preferentes de geometría a ambos lados del rumbo directo.

Dependiendo de la hora del día (UTC) y de la orientación geográfica del enlace, uno de los dos *Hot Spots* puede ser estadísticamente mucho más favorable que el otro. Es precisamente esta distribución de probabilidad de los meteoros esporádicos la que aprovechan los complejos algoritmos de cálculo integrados en los programas modernos de *Meteor Scatter*.

Esto explica también por qué la actividad de radio no forma una especie de «tubo continuo» de reflexiones alrededor de la línea directa entre las dos estaciones. La ionización meteórica puede producirse de forma aleatoria en muchos puntos del cielo, pero solamente una fracción muy pequeña de las estelas poseerá de forma simultánea la posición espacial y la orientación angular adecuadas para

generar un eco detectable en nuestro *shack*.

¿Qué significan entonces las letras A y B que muestra el software?

Cuando introducimos en el programa el indicativo o el *grid locator* de nuestro corresponsal, el software calcula el rumbo directo entre las dos estaciones y proporciona, además, una orientación alternativa correspondiente al *Hot Spot* que estadísticamente resulta más favorable en ese preciso momento del día.

Históricamente, las primeras versiones del programa WSJT original de Joe Taylor ya calculaban estos puntos a ambos lados de la dirección directa, teniendo en cuenta la posición de las dos estaciones y la hora del día, señalando el rumbo más óptimo para el tráfico. Por eso, en la interfaz del modo MSK144 podemos encontrarnos con indicaciones dobles como:

```
Az: 020° B: 011°
```

El primer valor (**Az: 020°**) representa la dirección geográfica directa (azimut ortodrómico) hacia el corresponsal. El segundo (**B: 011°**) indica una dirección desplazada unos grados hacia uno de los lados, correspondiente al *Hot Spot* calculado de forma dinámica por el software. Es importante comprender que no estamos intentando apuntar

hacia el corresponsal y hacia un meteoro al mismo tiempo: estamos orientando el haz de nuestra antena hacia una ventana del cielo en la que es matemáticamente más probable encontrar una estela cuya geometría permita establecer el camino de reflexión especular entre las dos estaciones.

¿Es realmente necesario desviar las antenas hacia el Hot A o el Hot B?

Aquí llegamos a la conclusión práctica del cuarto de radio. En una estación de *Meteor Scatter* convencional, **normalmente no es necesario realizar un seguimiento preciso ni descentrar el azimut hacia estos puntos**. Las antenas Yagi utilizadas habitualmente en las estaciones medias (de 8 a 10 elementos) tienen una anchura de haz a -3 dB lo suficientemente generosa (entre 25º y 35º) para cubrir por completo y de forma simultánea una parte importante de ambas regiones calientes.

La documentación clásica sobre *Forward Scatter* ya señalaba que, en general, las antenas utilizadas en la práctica amateur abarcaban al mismo tiempo los dos *Hot Spots*. Por esta razón, **apuntar con el rotor en línea recta directamente hacia el corresponsal funciona a la perfección**, aunque desde el punto estricto de la geometría espacial no sea la orientación estadísticamente óptima en ese

minuto.

Sin embargo, **cuando utilizamos grandes configuraciones enfasadas de antenas de alta ganancia y haces muy estrechos (como los *arrays* de EME), la situación cambia radicalmente**. En estas instalaciones de alta ingeniería sí resulta sumamente interesante e indispensable desplazar el azimut del rotor hacia el *Hot Spot* calculado por el programa, ya que un haz directivo muy estrecho (inferior a 15º) dejaría fuera de su foco una parte crucial de la región donde se producen las reflexiones más favorables, apuntando a una zona estéril del elipsoide.

> 📌 ***Idea fundamental para recordar:*** *El Hot A y el Hot B no son dos lugares físicos en el espacio donde caigan más meteoros del cielo. Son dos ventanas de la atmósfera donde la geometría del elipsoide hace que una mayor proporción de las estelas meteóricas adopte el ángulo de tangencia necesario para reflejar nuestras ondas de VHF hacia la estación corresponsal. Esa es, en realidad, la razón por la cual en Meteor Scatter apuntar directamente al rumbo del corresponsal no siempre significa estar apuntando hacia la mejor geometría de reflexión.*

¿Existe alguna diferencia real de rendimiento en la recepción entre utilizar el programa WSJT-X o el software MSHV?

Por una estricta cuestión de método científico, debo aclarar que nunca he dispuesto de la infraestructura necesaria en mi estación para monitorizar la banda conectando de forma simultánea dos ordenadores idénticos a la misma antena exacta mediante un divisor de potencia de alta gama para comparar ambos descodificadores en tiempo real. Sin embargo, habiendo operado y jugado de forma intensiva con ambas plataformas a lo largo de estos últimos años, mi conclusión práctica es que: **si los parámetros de configuración y los algoritmos de filtrado están ajustados exactamente con los mismos valores, no existe ninguna diferencia medible en el número de decodificaciones diarias**.

En el Cuarto de radio, durante los últimos años de mi actividad, yo me decanté por utilizar de forma prioritaria el programa **MSHV frente al WSJT-X original**, pero respondiendo a motivos estrictamente ligados a la ergonomía, la usabilidad de su interfaz gráfica, la gestión interna de las ventanas de comunicados múltiples y la estética visual de su panel de control, más que por una diferencia de rendimiento neto sobre las señales de radio.

No tengo constancia bibliográfica de que se haya ejecutado ningún experimento masivo enfocado de forma exclusiva a la banda de VHF en el modo MSK144 como el célebre estudio que desarrolló en su día el operador **Fabian Malnero (EB1TR)** en la banda de HF utilizando el modo FT8. En aquella brillante investigación, EB1TR diseñó un servicio informático específico dedicado al procesamiento directo de las tramas de datos UDP que generaban de forma paralela los programas *JTDX, WSJT-X* y *MSHV*. Su sistema escuchaba simultáneamente los distintos puertos de red de cada software y procesaba en una base de datos en tiempo real las decodificaciones emitidas por cada uno de ellos ante la misma señal analógica. Las conclusiones estadísticas a las que llegó en HF fueron sumamente curiosas e interesantes, pero lamentablemente sus métricas no son extrapolables ni reproducibles para el comportamiento dinámico de ráfagas milimétricas que exige el modo MSK144 en la banda de 2 metros.

En los foros de la VHF avanzada europea, existen comentarios y corrientes de opinión que aseguran que el software MSHV de LZ2HV se muestra ligeramente superior y más agresivo a la hora de rescatar del ruido tramas digitales al límite de la física, mientras que el WSJT-X de Joe Taylor destaca por una automatización más integrada de las frecuencias de desvío (CAT) y una mayor ergonomía

general.

Sin embargo, al no disponer la comunidad de datos empíricos comparativos reales y certificados bajo un entorno de laboratorio en VHF, toda esta discusión se reduce simplemente a una cuestión de **sensación personal del operador**. Mi recomendación es que instaléis ambos programas, los probéis en el cuarto de radio y operéis de forma regular con el software que os haga sentir más cómodos y seguros ante la cascada (*waterfall*).

¿Elevando mecánicamente las antenas 5 o 10 grados hacia el cielo se obtiene alguna mejora en Meteor Scatter?

Esta es una pregunta con una respuesta técnica muy directa y gratificante: **sí, obtendremos una mejora notable en nuestra estación**, y esto responde a dos motivos físicos fundamentales: la geometría del enlace y la mitigación del ruido terrestre.

En primer lugar, el ángulo de elevación vertical idóneo no es fijo ni caprichoso, sino que viene determinado matemáticamente por la **distancia ortodrómica exacta a la que se encuentre el QTH de nuestro corresponsal**. Se trata de un cálculo de trigonometría esférica elemental basado en la altura fija de 100 km de la capa E de la ionosfera:

- Si el corresponsal con el que tenemos la cita (*sked*) se encuentra relativamente cerca, a una distancia de unos **800 km**, el centro geométrico del elipsoide se eleva sobre nuestro horizonte visual, exigiéndonos aplicar una **elevación vertical de la antena de unos 12º** para apuntar al corazón de la zona de ionización.
- Por el contrario, si intentamos batir un récord de distancia y el corresponsal se ubica en el límite físico del enlace de reflexión simple, rozando los **2000 km** de trayecto, el elipsoide cae de forma drástica hacia la línea del suelo, obligándonos a bajar las antenas hasta fijar una **elevación de apenas 1,1º** (prácticamente apuntando en línea recta hacia el horizonte óptico).

Por lo tanto, disponer de un rotor de elevación en la torre para ajustar el ángulo vertical en función del corresponsal de cada periodo es una herramienta que optimizará drásticamente el rendimiento de la estación.

En segundo lugar, surge un factor crítico relacionado con la salud electromagnética de la estación que muy a menudo pasa desapercibido para los operadores noveles. Imaginemos que nuestra antena Yagi principal cuenta con un lóbulo de radiación vertical ancho (del orden de unos

30º a -3 dB). Si fijamos el *boom* de la antena de forma completamente horizontal y paralela al suelo (0º de elevación) apuntando hacia un corresponsal lejano, **la mitad inferior de ese cono de energía electromagnética estará barriendo y apuntando directamente hacia la superficie de la Tierra**.

Debido a esto, la antena actuará como una gigantesca aspiradora electromagnética, absorbiendo toda la radiación térmica del suelo y, lo que es muchísimo peor en entornos suburbanos, captando todo el ruido industrial (*man-made noise*), las fuentes conmutadas de los vecinos y las interferencias de la zona residencial que nos rodea. Este chorro de ruido parásito ingresará en el preamplificador elevando críticamente el suelo de ruido y dejando la estación sorda ante las señales débiles.

Por consiguiente, el simple hecho de **elevar mecánicamente el *boom* de la antena apenas un par de grados hacia el cielo (entre 2º y 5º)** nos aportará un beneficio soberbio: el borde inferior del lóbulo principal dejará de apuntar de forma directa hacia los tejados de las casas y los cables eléctricos de los alrededores, provocando una caída drástica del nivel de *QRM* en el receptor. Separar el eje de escucha de la antena de la basura radioeléctrica de la Tierra es la mejor manera de permitir que los débiles

pings y susurros procedentes de las estrellas fugaces emerjan nítidos en la pantalla de nuestro ordenador.

Apéndice 1: lluvias meteóricas más importantes del año:

Lluvia	Máximo	(THZ)	Km/s	A.R. (α)	Decl. (δ)
Cuadrántidas	3-4 de enero	80	41	230º	+49°
Líridas	22-23 de abril	18	49	271º	+34°
Eta Acuáridas	5-6 de mayo	50	66	338º	-01°
Delta Acuáridas del Sur	30-31 de julio	25	41	340º	-16°
Perseidas	12-13 de agosto	110	59	48º	+58°
Oriónidas	20-21 de octubre	20	66	95º	+16°
Leónidas	17-18 de noviembre	15	71	152º	+22°
Gemínidas	13-14 de diciembre	150	35	112º	+33°
Úrsidas	21-22 de diciembre	10	33	217º	+76°

🌐 ***Recomendación del autor:*** *Para complementar este listado, recomiendo encarecidamente visitar la página web oficial de la International Meteor Organization (IMO) y descargarse anualmente su célebre* ***«Meteor Shower Calendar»****. En esta completísima publicación institucional encontraréis, año tras año, todos los datos científicos y astronómicos completamente actualizados de los mejores enjambres anuales.*

Apéndice 2: Cronología de una pasión: Cuatro décadas de divulgación del Meteor Scatter

Bloque 1: Artículos técnicos y colaboraciones editoriales

¿Qué es la red CARMELO?

Revista Meteors · 1 de octubre de 2025.

Descripción detallada de la arquitectura de la red de receptores automáticos CARMELO (*Cheap Amatorial Radio Meteor Echoes Logger*), inaugurada en marzo de 2024, centrada en la optimización de la observación y el registro de meteoros mediante el método de dispersión de señales de radio.

Historia de los observadores de radio en España

Revista Meteors · 1 de junio de 2024.

Ensayo histórico que recrea los inicios, las dificultades técnicas y los hitos logrados por los primeros radioaficionados pioneros en la detección de radio meteoros en nuestro país.

Grupo Español de Radiometeoros

Revista Meteors · 1 de febrero de 2024.

Presentación y desglose organizativo del primer colectivo de aficionados que ha constituido con éxito la primera red coordinada de observadores de radio meteoros a nivel nacional.

Consejos para los recién llegados al *Meteor Scatter*

Revista Radioaficionados (URE) · 1 de noviembre de 2022.

Manual de iniciación exhaustivo concebido para la realización de comunicados en la modalidad de *Meteor Scatter*. Incluye la base de conocimientos previos, requerimientos de equipos, diseño de antenas y recomendaciones operativas críticas.

Configuración del HROFFT para la observación de radio meteoros

Revista Meteors · 1 de febrero de 2018.

Guía técnica orientada a la configuración y calibración del software HROFFT, uno de los programas estándar más utilizados en la comunidad para la detección automática y el procesamiento informático de datos meteóricos.

Cálculo de trayectorias utilizando técnicas de radio
Revista Meteors · 1 de junio de 2016.

Estudio del proceso físico-matemático necesario para determinar las trayectorias de los meteoroides mediante el análisis de señales de radio. El artículo divulga, además, los trabajos de investigación que diversos aficionados españoles están realizando en este campo.

Observación radiometeórica de bajo coste

Revista Meteors · 1 de febrero de 2015.

Artículo de divulgación con la finalidad de acercar la radioastronomía amateur al público general, demostrando la viabilidad de registrar radio meteoros mediante el uso de configuraciones de hardware sencillas, accesibles y muy económicas.

WebSDR para la observación de radio meteoros

Revista Meteors · 1 de junio de 2014.

Análisis práctico sobre el aprovechamiento y procesado de los datos de propagación obtenidos a través del receptor WebSDR instalado en La Salle Universidad Ramon Llull. Una alternativa innovadora para disponer de un observatorio digital remoto sin grandes inversiones.

GRAVES: *Grand Réseau Adapté à la Veille Spatiale*

Revista Meteors · 1 de junio de 2013.

Estudio operativo sobre la utilización de las potentes transmisiones del radar militar francés GRAVES (143.050 MHz) como portadora de referencia para monitorizar de forma continua la actividad meteorológica en VHF.

Mejora de una estación de *Meteor Scatter*

Revista Radioaficionados (URE) · 1 de noviembre de 2012.

Estudio de ingeniería de radio enfocado a los requisitos críticos de diseño y optimización que debe cumplir una estación amateur (secuenciadores, relés, atenuación y figura de ruido) para operar con garantías en esta modalidad.

Proyecto *Meteor Software Radio Detection*

Revista Meteors · 1 de junio de 2012.

Monográfico que describe la estructura de las diferentes redes internacionales de teledetección de meteoros activas y que formaliza una propuesta técnica detallada para la creación de una red nacional unificada.

Comunicación por dispersión en ráfagas de meteoros (*Meteor Scatter*) - Parte II

Revista CQ Radio Amateur · 1 de mayo de 2011.

Segunda entrega del estudio sobre la física de la ionización en las capas altas de la atmósfera provocada por la fricción de los meteoroides, y la metodología técnica empleada por los radioaficionados de VHF avanzados para establecer contactos a gran distancia.

Comunicación por dispersión en ráfagas de meteoros (*Meteor Scatter*) - Parte I

Revista CQ Radio Amateur · 1 de abril de 2011.

Primera parte de la serie divulgativa sobre el fenómeno de la ionización atmosférica, introduciendo los conceptos geométricos fundamentales y el comportamiento de los trazos de los meteoros como superficies reflectoras de ondas electromagnéticas.

Comunicación por dispersión en ráfagas de meteoros (*Meteor Scatter*)

Revista Meteors · 1 de febrero de 2010.

Artículo de fondo dedicado a la divulgación del fenómeno de las estelas ionizadas, describiendo la operativa analógica y digital que capacita a las estaciones de VHF para el DX meteorológico.

Guía para la observación de meteoros por técnicas de radio

SOMYCE (Sociedad de Observadores de Meteoros y Cometas de España) · 1 de abril de 2009.

Manual introductorio de radioastronomía amateur editado con motivo de la celebración del Año Internacional de la Astronomía (AIA-IYA 2009), con el fin de unificar las técnicas de observación de astrónomos y radioaficionados.

Radio observación de las Perseidas 2005

Revista Meteors · 29 de octubre de 2005.

Análisis científico y desglose de datos estadísticos sobre la evolución de la lluvia de las Perseidas de 2005, obtenidos desde el radio observatorio de la localidad de Valls (Tarragona) mediante el uso del software MSD (*Meteor Software Detection*).

Canal de comunicaciones por dispersión meteórica

Libro de Abstracts del XVII Simposio Nacional de la Unión Científica Internacional de Radio (URSI) · 11 de septiembre de 2002.

Artículo científico que recopila y analiza los datos de actividad meteórica de todo el año 2001 registrados ininterrumpidamente desde el observatorio de radio de La Salle Universidad Ramon Llull. Publicado de forma oficial por la Escuela Politécnica de la

Universidad de Alcalá de Henares.

Radio observación de las Leónidas 2000

Revista Meteors · 16 de febrero de 2001.

Estudio gráfico y matemático del máximo de la lluvia de las Leónidas del año 2000. Los datos reflejan fielmente la evolución temporal de la tormenta meteórica analizada desde el observatorio de Barcelona con tecnología de procesado MSD.

Las Leónidas

Revista INPUT · 18 de abril de 1999.

Investigación y análisis de los datos de propagación obtenidos durante el gran máximo de las Leónidas ocurrido los días 16, 17 y 18 de noviembre de 1998, recopilados desde el radio observatorio del RadioClub La Salle de la Universidad Ramon Llull.

Sección mensual *«Meteor Scatter»*

Revista Radioaficionados, Unión de Radioaficionados Españoles (URE) · Mensual (enero a diciembre de 1999).

Dirección y redacción de la sección especializada dentro del área de V-U-SHF. Durante todo el volumen de 1999 se publicaron mensualmente estudios de radiantes, efemérides astronómicas, procedimientos

operativos, software de predicción y crónicas de expediciones europeas.

Todo sobre las Gemínidas

Revista CQ Radio Amateur · 1 de diciembre de 1988.

Primer artículo técnico publicado por el autor, centrado en el comportamiento de la lluvia de las Gemínidas de 1988. El texto detalla los procedimientos prácticos en CW y SSB para aprovechar de forma óptima los *bursts* y completar comunicados en la banda de 144 MHz por encima de los 1000 km.

Bloque 2: Conferencias, ponencias y talleres impartidos

Meteor Scatter: Fundamentos, equipos y operativa

Unión de Radioaficionados Españoles (URE) · 8 de febrero de 2023.

Conferencia divulgativa sobre los principios físicos del fenómeno, los requerimientos técnicos de la estación y los procedimientos de operación en banda estrecha. Grabada y disponible en formato audiovisual a través del canal oficial de YouTube de la URE.

T.O.M.R.: Técnicas de Observación de Meteoros por Radio

IX Jornadas de Astronomía, Cartagena · 25 de octubre de 2003.

Ponencia técnica sobre la física aplicada a los radios meteoros y las pautas de ingeniería para el diseño y construcción de un radio observatorio amateur optimizado para presupuestos modestos. Evento organizado por la Asociación Astronómica de Cartagena.

Observación de meteoros por radio

I Taller de Radioastronomía (UPC), Barcelona · 22 de marzo de 2002.

Conferencia magistral sobre las metodologías de monitorización meteórica mediante radiofrecuencia y los pasos clave para el despliegue de estaciones de escucha de bajo coste. Impartida en la Universidad Politécnica de Catalunya.

Comunicación por dispersión en ráfagas de meteoros (*Meteor Scatter*)

I Encuentro de Usuarios de Packet Radio, Barcelona · 13 de abril de 1998.

Ponencia enfocada a analizar la viabilidad, protocolos e interfaces de comunicación necesarios para el intercambio de tramas de datos digitales utilizando las estelas ionizadas como medio reflector.

Conferencia-coloquio sobre dispersión meteórica

IX Contest Comarques catalanes, Santpedor (Barcelona) ·

24 de noviembre de 1996.

Disertación técnica y foro de debate sobre la operativa en VHF avanzado, celebrada dentro del programa oficial de actividades de la entrega de premios del concurso, bajo la organización del Ràdio Club Auro.

Introducción al *Meteor Scatter*

Feria de Radioaficionados MercaHAM'96, Cerdanyola del

Vallès (Barcelona) · 4 de mayo de 1996.

Conferencia de promoción de la modalidad orientada al público general de la feria. Impartida en el Parc Tecnològic del Vallès bajo el auspicio del Ràdio Club El Vallès.

Comunicaciones por *Meteor Scatter*

Fiesta Mayor de Sant Sadurní d'Anoia (Barcelona) · 2 de diciembre de 1995.

Charla descriptiva sobre la mecánica de la ionización atmosférica por fricción y los métodos de explotación de ráfagas electromagnéticas por parte de las estaciones de aficionado. Organizada por el Ràdio Club Sant Sadurní.

Control de actividad meteórica

Centre de Lectura de Reus (Tarragona) · 28 de marzo de 1995.

Conferencia sobre la importancia de la radioastronomía amateur y la metodología para procesar y estandarizar los datos obtenidos en un radio observatorio con el fin de contribuir a estudios científicos mundiales. Impartida en representación del *Grup d'Estudis de Telecomunicacions* (GET).

Comunicaciones por dispersión meteórica

Escola Universitària Politècnica de Vilanova i la Geltrú

(Barcelona) · 13 de enero de 1994.

Ponencia académica integrada en el Programa de Extensión Cultural de la Universidad Politécnica de Catalunya, orientada a estudiantes de ingeniería y radioaficionados de la zona, bajo la coordinación del Ràdio-Club de la EUPVG y como miembro del GET.

Comunicaciones por dispersión meteórica (Docencia)

Museu de la Ciència de Barcelona

· Del 20 de enero al 4 de febrero de 1994.

Dirección y desarrollo del módulo formativo especializado en reflexión meteórica, encuadrado dentro del programa pedagógico general «La radioafición experimental» del museo (actual Cosmo Caixa).

Fundamentos y operativa del *Meteor Scatter*

Congreso Nacional de Radioafición de URE, Vitoria-Gasteiz · 5 de diciembre de 1993.

Ponencia técnica sobre las estrategias de comunicados en VHF analógico, sus periodos de transmisión y la optimización de estaciones a nivel nacional. Celebrada en el Palacio de Congresos Europa.

El fenómeno del *Meteor Scatter*

Cursillo de verano de Observaciones en Meteorología y

Astronomía, Veciana (Barcelona) · 12 de agosto de 1992.

Clase teórica y demostración práctica en tiempo real de comunicados de radio aprovechando el rastro ionizado de las Perseidas coincidiendo con la noche de su máximo absoluto. Celebrada en la Estación Agrometeorológica de la Alta Segarra (Masia Benviure).

Comunicación por reflexión de meteoros

I Congreso de Grupos Amateurs de Actividades Científicas, Barcelona · 17 de octubre de 1987.

Conferencia en el Sub-ámbito de Telecomunicaciones dentro del Área de Ciencias Tecnológicas. Exposición de los primeros estudios y resultados en la detección amateur de trazos ionizados en España. Evento organizado por el CIRIT de la Generalitat de Catalunya y celebrado en la Universidad de Ciencias de Barcelona.

Sobre el Autor:

Desde que construyó su primer receptor de radio con tan solo 16 años, las telecomunicaciones han sido para **Enric Fraile Algeciras (EA3BTZ)** un motor constante de investigación experimental, divulgación altruista y pasión científica.

A lo largo de su dilatada trayectoria en las bandas de VHF avanzado, ha alcanzado hitos excepcionales: desde complejos comunicados por rebote lunar Tierra-Luna-Tierra (EME) hasta la dirección de la prestigiosa Comisión de Radio-Observaciones de SOMYCE, pasando por la fundación del Grup d'Estudis de Telecomunicacions (GET) y el despliegue del único observatorio automatizado de radio meteoros que operó de forma continua durante décadas en nuestro país.

Historiador de la radio y formador nato de nuevas generaciones de operadores, su fascinación por el Meteor Scatter le llevó, en el año 1983, a cazar con éxito su primer eco meteórico analógico. Hoy, más de cuarenta años y decenas de artículos técnicos y conferencias después, reúne con absoluta humildad en esta obra cumbre todo el conocimiento práctico y teórico necesario para dominar el arte de comunicarse a través del rastro efímero de las estrellas fugaces.