

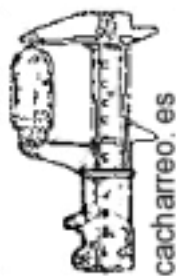
Operación 10·G

Experiencias en microondas en banda X

por

el equipo de

www.cacharreo.es



J.Moldes, EB1HBK. Orense, Julio de 2012

Creative Commons- BY-SA-NC-ND

Operación 10-G, o como iniciarse en microondas en tiempos de crisis.

«Tal vez la onda corta sea la cuna de la radioafición. Pero no se puede vivir para siempre en una cuna...»

(adaptación de una cita de K. Tsiolkovski)

Antecedentes.

Fue quizás hace dos o tres años cuando, junto con Antonio EB1AJP, llevamos a cabo en su laboratorio unas pruebas de multiplicación de frecuencia mediante diodos, tomando como referencia una nota de aplicación de Agilent [1]. Repetimos el ensayo con las diferentes clases de diodos que teníamos a mano para averiguar que tipo mostraba mejor comportamiento y, a pesar del poco rigor del experimento, el resultado obtenido nos dejó entonces un tanto sorprendidos

En Orense llevamos un tiempo con intención de dar el salto a las bandas de microondas, tiempo que nos ha servido para documentarnos y proveernos de los elementos adecuados con los que comenzar a experimentar. Prácticamente todos los componentes que utilizamos se han recuperado de material de desecho o fueron donados por simpatizantes. Los primeros pasos fueron mas bien tímidos y los avances escasos, pero de un tiempo a esta parte los progresos se han sucedido con mayor rapidez.

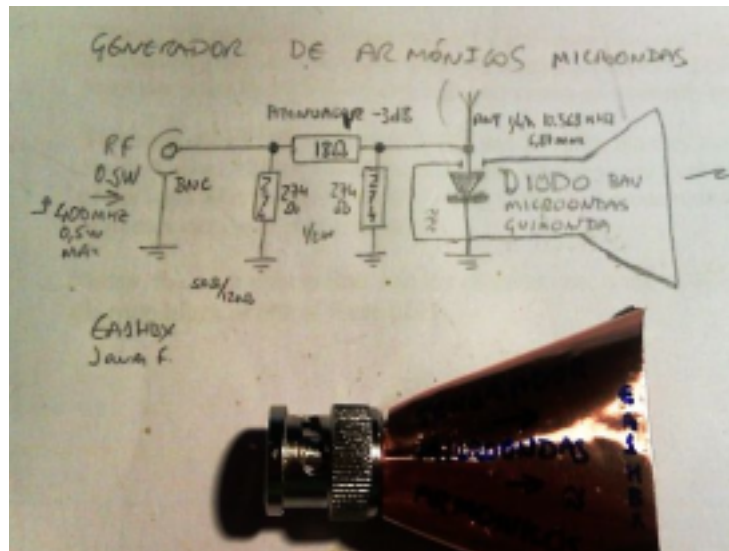


(fig. 1) cavidad doppler gunn 10 GHz

El artículo de EA4EOZ publicado meses atrás en la revista de URE (así como también sus otros artículos en la web [2]) y los cacharreos con microondas usando un LNB como detector que se describen en la web de Aniladro [3] han sido tal vez el pistoletazo de salida para lo que ahora veremos aquí. En efecto, aquella fotografía del pobrecito 1N4148 exprimido hasta sus últimos armónicos en el artículo de Miguel Ángel es una imagen difícil de olvidar.

Uno de los modos mas asequibles para iniciarse en los 10 GHz es recurrir a los diodos gunn y experimentar con la modulación en banda ancha. Esto, a pesar de estar considerado un tanto obsoleto y limitado en la actualidad, representa una buena opción para comenzar a manejarse y adquirir cierta soltura en estas extrañas bandas. Esta es una recomendación que encontramos con frecuencia en la red [4]. Con todo, los diodos gunn y las guías de onda para acoplarlos no dejan de resultar componentes un tanto exóticos, de ahí que la opción mas fácil pase por reutilizar una cavidad doppler recuperada de algún sensor de alarma (fig.1).

La opción "llave en mano" de comprar un transverter para 10 GHz ya montado y ajustado tiene sus ventajas, pero también algunos inconvenientes. Un inconveniente, no poco importante, es que al comenzar adquiriendo un producto ya terminado se aprende muy poco. En el equipo de cacharreos compartimos el sentimiento de que el radioaficionado no debiera dejar de entender y mucho menos perder de vista la tecnología que maneja, para no terminar convertido en poco más que un usuario de electrodomésticos. Aunque, que duda cabe, el saber manejar un electrodoméstico también es cosa importante.



(fig. 2) primer prototipo de bocina y atenuador para el diodo

Generar 10 GHz.

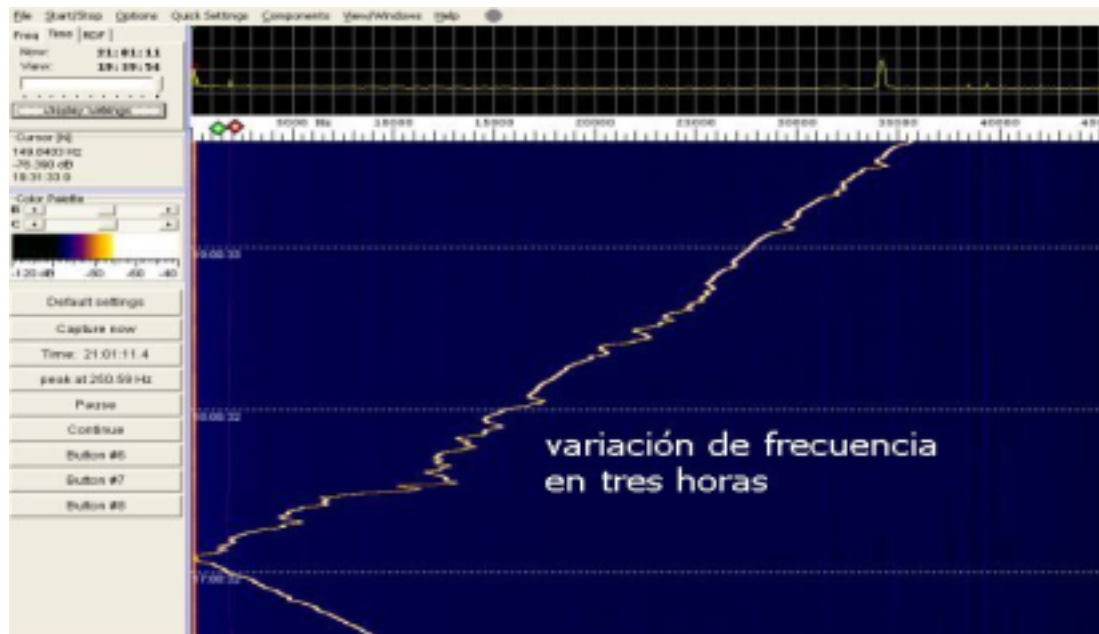
En el ARRL Antenna Handbook [5] se aborda de un modo sencillo la cuestión de las guías de onda y los principales cálculos que determinan sus características. Por otro lado, EA4BGH, ha publicado en su web [6] un sencillo calculador para guías onda circulares que simplifica enormemente la tarea y además explica de modo muy claro el comportamiento básico de un guíaonda. El caso es que algunos perfiles de aluminio de uso corriente resultan ideales para elaborar guíaondas. Con lo cual construirse uno mismo un buen guíaonda para 10 GHz resulta una tarea bastante sencilla. No es imperativo por tanto rebuscar surplús por ebay, o recurrir a algún amigo chatarrero que nos provea (aunque, el radioaficionado que tiene un amigo chatarrero, tiene un tesoro).



(fig. 3) LNB comercial para recepción de TV

En esencia nos hemos estado dedicando a generar señal en 10 GHz partiendo de un simple diodo, pero sin recurrir a los habituales diodos Gunn. En este caso alimentamos un diodo Schottky con una señal de 432 MHz para aprovechar el armónico número 24, que cae justo por los 10.368 MHz. Como puede verse en el dibujo (fig. 2) la idea es bastante simple: el atenuador limita la potencia entregada al diodo -así como la ROE que ve el equipo- para no quemar ninguno de los dos. El diodo sometido a esta señal de RF es un importante generador de armónicos, produciendo señales en frecuencias muy elevadas, que se extienden a lo largo del espectro de radio más de lo que podemos imaginar.

Ahora se trata de dirigir la señal obtenida directamente a una antena con las dimensiones correctas en el interior de una guía de onda. Como el conjunto antena-guiaonda forma una unidad resonante en el armónico que nos interesa, la señal producida por el diodo resulta particularmente intensa. En los primeros ensayos se aplicó al diodo una señal portadora de 0,5 vatios en 432 MHz a través de un atenuador de -6 dB (y también -3 dB), aguantando el diodo ambos niveles de potencia a pesar de que usamos un diminuto Schottky BAT62. Con estos sencillos elementos ya somos capaces de generar una señal útil en 10 GHz, pero ¿cómo podemos comprobar que efectivamente es así?



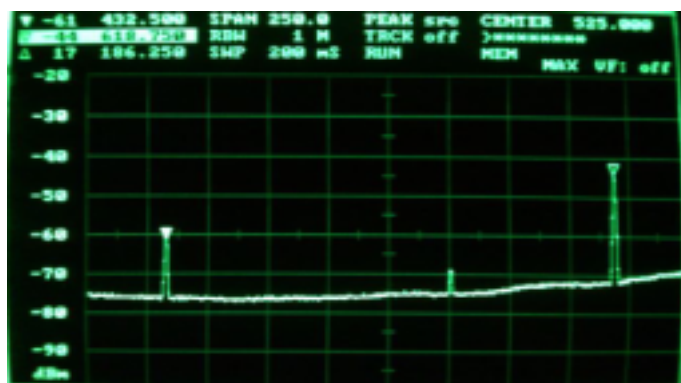
(fig. 4) medida de la deriva del DRO

Recibir 10 GHz.

El modo mas sencillo de recibir y poder monitorizar la señal que hemos generado en 10 GHz es utilizar un LNB comercial de los empleados para recibir TV por satélite (fig. 3). Aunque nos salimos un poco fuera de su margen operativo, son perfectamente utilizables sin modificación alguna. Además en las medidas que ha realizado EA1FBU (fig. 4) ha podido apreciar que son bastante mas estables (dentro de sus límites) de lo que imaginábamos.

Con un LNB sin modificar las cuentas salen así:

$432 \text{ MHz} \times 24 = 10.368 \text{ MHz}$; esta señal es recibida por el LNB y restada a la de su oscilador interno (DRO) de 9.750 MHz , produciendo una F.I. de frecuencia mucho menor; $10.368 \text{ MHz} - 9.750 \text{ MHz} = 618 \text{ MHz}$. Esta es la frecuencia en la que vamos a recibir.



(fig. 5) espectro de portadora en 432 MHz y F.I. de 10 GHz en 618 MHz

De este modo podemos monitorizar en 618 MHz la señal que realmente el diodo está generando en 10.368 MHz (fig. 5). Muchos transceptores hoy en día disponen de recepción extendida alcanzando perfectamente esta frecuencia. En nuestro caso utilizamos como receptor un walkie Kenwood TH-F7E, el cual es capaz de recibir hasta los 1.100 MHz . Este sencillo sistema nos ha permitido ir afinando los prototipos iniciales (fig. 6), tanto en el guiaonda como en el circuito del diodo, mejorando el diseño inicial en sucesivos ensayos, obteniendo cada vez un guiaonda mas eficiente y una señal de mayor nivel en 10 GHz (fig. 7).



(fig. 6) primer prototipo de guiaonda (diam.int. 19 mm)

Comenzamos esta etapa EA1HBX y quien esto escribe, aunque no tardó en sumarse también Alfredo EA1FBU, el cual ya había realizado anteriormente experimentos en estas frecuencias. Cacharrear en equipo es una actividad apasionante, con las aportaciones de cada miembro se produce una realimentación de ideas que da lugar a una especie de reacción en cadena casi imparable. Aunque en este caso es justo decir también que la mayor parte del trabajo de depuración ha corrido a cargo de EA1HBX, quien en sucesivas pruebas - y aplicando la técnica YSI [7]- ha ido filtrando las ideas buenas y desechando rápidamente aquellas que no daban el resultado esperado.



(fig. 7) guionda optimizada con bocina (diam.int. 22mm)

Día de San Juan, primer MW Field-Day.

Tras las pruebas «in-door» realizadas por Javier con diferentes prototipos decidimos que era hora de realizar un ensayo de recepción a mayor distancia. Con la participación de EA1HWK nos lanzamos al exterior para familiarizarnos con el apuntado de la parábola de SAT y el LNB, e intentar llegar al límite de recepción de la señal generada por el diodo. Empleando como generador de señal únicamente el diodo Schottky y un guionda circular a unos 170 metros de distancia, la señal de recepción en el F7 era de S6 y la calidad de modulación en WFM extraordinaria (fig. 8). La falta de tiempo nos impidió saber hasta que distancia podíamos llegar, pero solo comprobar la «poderosa» señal en 10 GHz que logramos extraer al BAT62 nos dejó mas que satisfechos.



(fig. 8) primer ensayo exterior de recepción en 10 GHz

Mejorando el sistema.

Mencionaba al principio de este artículo el curioso resultado que había observado junto con Antonio, EB1AJP, ensayando multiplicadores de frecuencia con diodos. En aquel momento pasamos por la piedra de toque todo tipo de diodo semiconductor que teníamos a nuestro alcance. De todos ellos los que proporcionaron los armónicos de mayor intensidad hasta donde alcanzamos a medirlo fueron los «obsoletos» diodos detectores de punta de germanio tipo OA85. A consecuencia de aquel experimento comencé a valorar la posibilidad de usar este tipo de diodos en frecuencias muy por encima de su margen de trabajo habitual, pero, aunque la busqué, no llegué a encontrar información alguna al respecto.



(fig. 9) guíaonda con diodo generador de germanio

Actualmente los diodos aptos para uso en microondas a menudo ni son componentes fácilmente localizables ni son baratos. No fue hasta hace poco tiempo que caí en la cuenta que un diodo detector de germanio también es en realidad un diodo Schottky. A diferencia de un diodo semiconductor normal, formado por la unión de dos cristales semiconductores tipo P-N, un diodo Schottky está formado por una unión metal-semiconductor. Justo como en un diodo de punta de contacto. Además los diodos para frecuencias muy elevadas se caracterizan por poseer una capacidad interna extremadamente pequeña. También esta es una característica de los diodos detectores de punta. Sin embargo en microondas no se usan diodos del tipo OA85 ¿o sí?.



(fig. 10) guíaonda transmisor iluminando la parábola

Tenía la intuición de que el diodo de germanio podría funcionar. Tal vez el encapsulado no era el adecuado y el rabillo conocido como «bigote de gato» añadiese una inductancia de tal magnitud que arruinase el funcionamiento del diodo en hiperfrecuencias. Pero, de ser este el caso, quizás fuese posible añadir una pequeña capacidad en serie con el diodo de tal modo que cancelase la reactancia parásita de la punta de contacto haciendo que la cosa funcionase. Había que probarlo.

La primera prueba consistió simplemente reemplazar el BAT 62 por un OA85. Funcionó a la primera y produciendo además un incremento notable de la señal generada. EA1HBX estaba eufórico con el resultado y no puedo resistirme a citar el SMS que me envió acerca del experimento: *"Hola Javi, el oa85 en la parábola a 10 Mt y atenuador a tope 20 db, HMT sin trompeta, señal a tope... esto pita! slds"*. Tras la prueba inicial ha ido añadiendo algunas mejoras notables al atenuador de alimentación del diodo y modificando el sistema de cierre posterior del guíaonda. Tal como se ve en la foto del prototipo (fig. 9) el resultado es realmente minimalista, pero funciona muy bien, ya sea solo o como iluminador de la parábola (fig. 10).

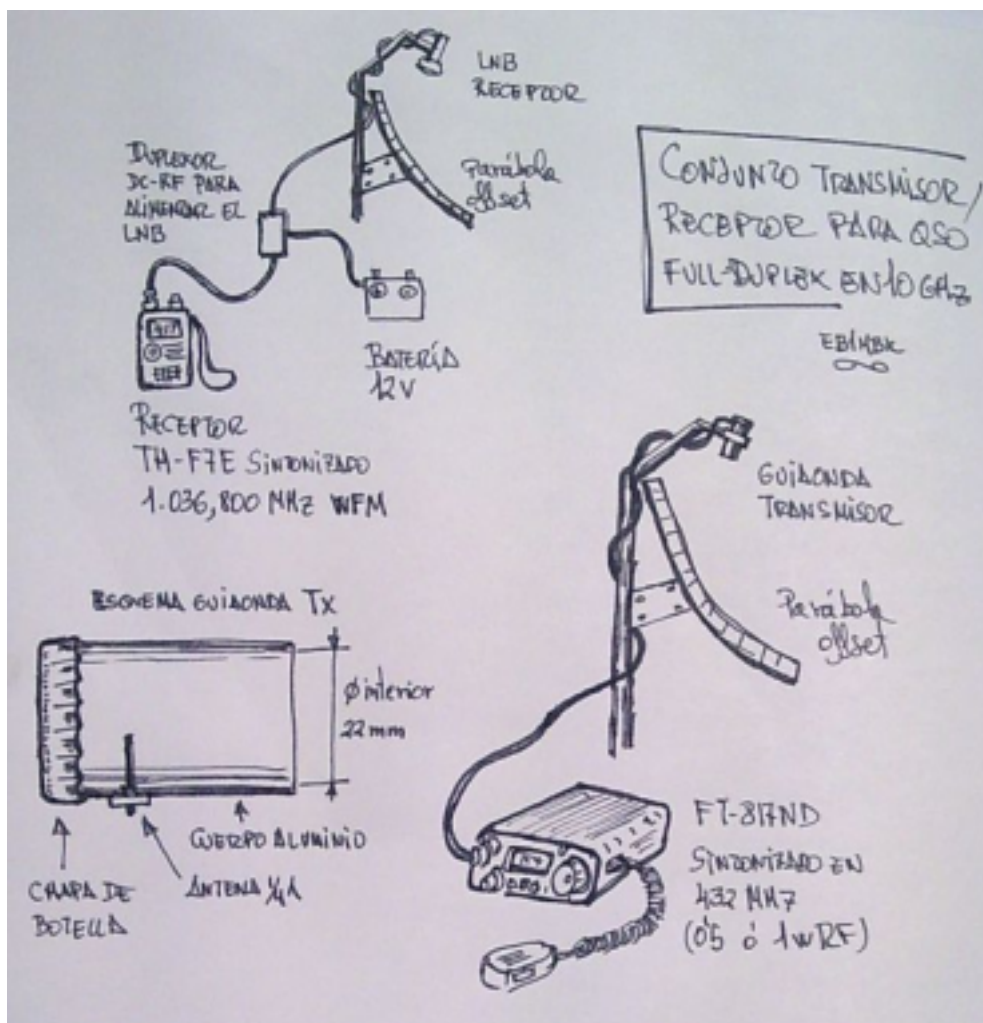
Equipo básico para experimentar en 10 GHz:

Para el TX:

- un guíaonda (consultar la web de EA4BGH para los cálculos)
- un diodo de germanio OA85 o similar
- una resistencia de 150 ohmios
- un transmisor de 432 MHz (144 también sirve, no más de medio vatio de pwr)

Para el receptor:

- un LNB (nuevo o recuperado) con su alimentador, comercial o home-made
- una parábola de SAT, aunque inicialmente no es necesaria
- un receptor capaz de llegar a los 650 MHz, mejor con WFM



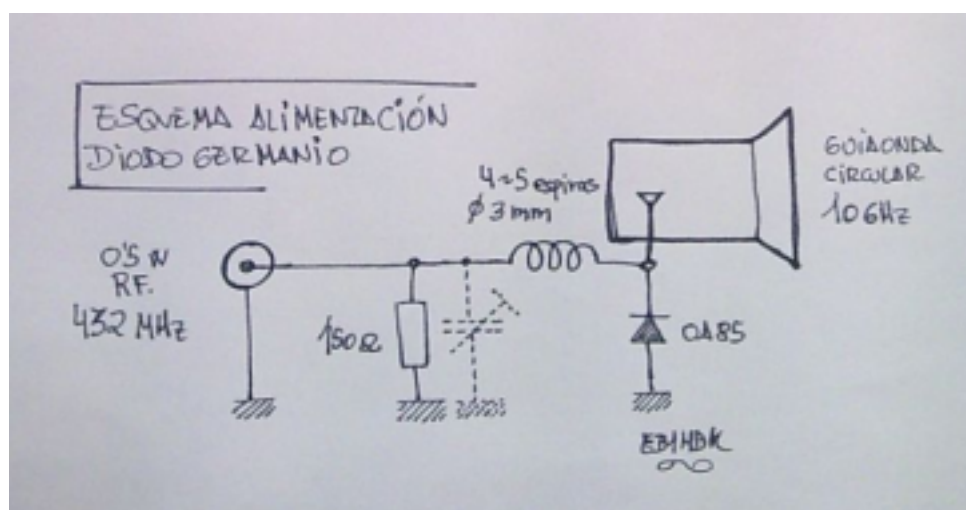
(fig. 11) conexión de los elementos para RX-TX full duplex

En el diagrama (fig. 11) se muestra la disposición e interconexión de todos los componentes, así como los planos del guiaonda. Para su construcción se han usado recortes de tubo de aluminio de 25 mm (diámetro interior 22 mm), lámina de aluminio procedente de un lata de bebida energética y una chapa de cerveza, además de un trozo de hilo de cobre corriente de 1,5 mm y como aislante un trocito de plástico procedente de un gancho para colgar cuadros. Lo "último" en tecnología.

Concurso Atlántico (MAF 2012), segundo MW Field-Day.

El Domingo 8 de Julio organizamos el segundo field-day para intentar el QSO completo y a mayor distancia que en la vez pasada. Fue una quedada interprovincial en toda regla. Desde Pontevedra llegaron Alfredo EA1FBU, Jose EA1CCM y Adrian. Por la parte de Orense Javier EA1HBX, Antonio EB1AJP y Javier EB1HBK. El lugar de la cita propuesto por Alfredo, el Faro de Avión, es frontera natural entre ambas provincias y ofrece una orografía ideal para las pruebas que íbamos a realizar.

Con respecto a los primeros ensayos, contamos con algunas mejoras para esta ocasión. Por un lado empleamos en ambas estaciones como generador de 10 GHz diodos detectores de germanio, en lugar de los BAT62 de la ocasión anterior. Por otro lado EA1HBX ajustó los DRO de los LNB receptores para producir una F.I. de recepción de 1.036,800 MHz, mejorando la sensibilidad. También se modificó el sistema de conexión del diodo, optimizando la adaptación de impedancia para el transmisor de 432 MHz (fig. 12).



(fig. 12) diagrama alimentación diodo de germanio

La distancia de 1 km.entre las ubicaciones, una en cada provincia, nos pareció suficiente desafío para esa ocasión. Logramos el QSO con un audio de buena calidad y pudimos comprobar cuan crítico es el alineamiento de las parábolas. Las condiciones de operación fueron para EA1HBX: guiaonda de 3/4 iluminando la parábola con 1/2 w de potencia en 432. Por parte de EB1HBK se usó un guiaonda de 5/4 con 1 w de potencia en 432. El sistema de carga y el propio diodo de germanio han trabajado bien con estos valores de potencia. Tanto los LNB de recepción como las parábolas offset (TX y RX) son de las que se emplean habitualmente en recepción de TV SAT, sin ninguna característica especial. Proceden de material recuperado y tan solo se ha adaptado el soporte del brazo de las parábolas para poder dirigir su haz en dirección horizontal (fig. 13).



(fig. 13) parábolas offset SAT adaptadas a uso terrestre

Como nota curiosa, añadir que durante esa jornada estuvimos haciendo pruebas con unos LNB económicos de última generación (marca Sharp) que adquirió EA1HBX los cuales ya no incorporan DRO. En su lugar vienen equipados con un sintetizador (o un DDS, no lo hemos investigado a fondo) que genera la frecuencia del oscilador local en 9 y pico GHz. Estos osciladores incorporan un cristal de cuarzo de algunas decenas de MHz como referencia y muestran una estabilidad en frecuencia extraordinaria (fig. 14).



(fig. 14) medición de estabilidad del nuevo LNB

¿Conclusión?

No debemos olvidar que cualquier modulación que realicemos sobre la portadora de 432 MHz (excepto CW) se convierte en modulación ancha en 10 GHz por el efecto de la multiplicación. Abordar los modos de banda estrecha representa otro nivel de desafío en el que no entraremos por el momento. Puesto que estamos empezando hay hacerlo por lo mas fácil. No obstante, partiendo de los sencillos elementos que hemos expuesto las posibilidades de experimentación y mejora son enormes. Por ejemplo, y dado que con un simple diodo detector de germanio podemos producir una señal en 10 GHz de un nivel aceptable, la pregunta lógica que nos hacemos es inmediata: ¿es posible usar el mismo tipo de diodo para detectar los 10 GHz?

Otra pregunta: ¿es factible modular en banda estrecha la señal generada de algún modo realmente simple?, tal vez si sea posible. Navegando por la red en busca de experiencias similares a la nuestra (usar los diodos detectores de germanio para generar microondas), encontré un documento muy interesante de la década de los 80 publicado en la Universidad de Cochin [8], en el cual se describe el uso de un sencillo diodo de germanio para modular en fase una portadora de microondas. Esto aun no lo hemos probado, pero parece ser un camino de experimentación muy interesante ¿alguien se anima a intentarlo?.

En los ensayos realizados hasta ahora hemos empleado equipos diferentes para TX y RX. El sistema puede simplificarse utilizando únicamente el walkie Kenwood TH-F7E, aprovechado su característica bibanda, transmitiendo en 432 y recibiendo en la subbanda con el receptor de cobertura extendida. En este caso es preciso dotar al transceptor de un duplexor o algún tipo de conmutador de antena para los cambios RX-TX.

Otra mejora ha sido modificar la frecuencia de oscilación del DRO en el LNB para subir la F.I. de bajada del LNB desde los 618 MHz hasta los 1.036,800 MHz. EA1HBX ha podido comprobar durante las pruebas de varios DRO que disponen de margen suficiente. Con este cambio estamos trabajando dentro del margen normal de F.I. del LNB, mejorando su respuesta, y por otro lado la lectura de la frecuencia de transmisión es directa en el display del TH-F7E, solo hay que ignorar los puntos de separación. 1.036,800 MHz equivalen a 10.368.000 MHz.



(fig. 15) EA1HBX con el guiaonda transmisor de 5/4 sin bocina

Adaptar el soporte de una parábola offset para uso terrestre y el posterior apuntado requieren de cierta habilidad y práctica. Hemos estado utilizando parábolas separadas para TX y RX con lo cual el trabajo de alineado se duplica. Los pasos siguientes se encaminan a emplear una sola parábola con el LNB y el guíaonda en paralelo, o incluso un único guíaonda común para TX y el LNB. El desafío es averiguar cual es la máxima distancia en 10 GHz que podemos alcanzar con estos sencillos medios, o dicho de otro modo ¿hasta donde es posible "exprimir" en TX el diodo detector de germanio?.

También hemos podido comprobar que por encima de un nivel de potencia en 432, la señal de 10 GHz producida por el diodo de germanio ya no aumenta y luego comienza a bajar. Las pruebas las hemos realizado con 1/2 w y 1 w de señal (potencia nominal del FT-817ND) entregado al atenuador o sistema adaptador del diodo (fig. 15). El nivel de señal generado en 10 GHz es realmente minúsculo, pero aún no hemos alcanzado el límite de distancia que podemos cubrir con estos sencillos medios. Por otro lado, nada impide intentar filtrar la señal en la cavidad y posteriormente amplificarla. La horquilla de posibilidades que se nos abre para experimentar con unos medios tan sencillos y económicos solo están limitados por la imaginación.

¿Y quien le iba a decir al modesto diodo detector de germanio que, desde los receptores de galena del pasado, en donde permanecía relegado, iba a experimentar este salto cuántico [9]?

Durante toda esta serie experimentos lo hemos pasado realmente bien y nos hemos reído mucho. En el canal de YouTube de EA1HBX pueden verse una serie de vídeos realizados con mucho desenfado, surgidos a raíz de toda esta experiencia, y a través de los cuales pueden hacerse una idea del desarrollo de toda esta historia. En el título se indica Operación 10·G

Actuaron por orden alfabético: Alfredo EA1FBU, Javier EA1HBX, Javier EB1HBK.

Participaron en el primer MW Field-Day: EA1HBX, EA1HWK, EB1HBK

Segundo MW Field-Day: EA1HBX, EA1FBU, EA1CCM, EB1AJP, EB1HBK y Adrian

Agradecimientos: A todos los que nos habéis prestado o donado material para cacharrear y también a todos los colegas que han publicado y compartido de algún modo sus experiencias.

J.Moldes EB1HBK. Orense, Julio 2012.

www.cacharreo.es

Este texto tiene licencia Creative Commons (CC) con las siguientes atribuciones: (BY) (SA) (NC) (ND).

(autores de todas las imágenes EA1FBU, EA1HBX y EB1HBK)

[1] <http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/5966-4998E.pdf>

[2] <http://ea4eoz.ure.es/>

[3] <https://sites.google.com/site/anilandro/Home>

[4] <http://www.g3pho.org.uk/>

[5] ARRL Antenna Book 19th edition (ISBN:0-87259-804-7); Waveguides, 18-3

[6] http://www.mipaginapersonal.movistar.es/web3/ea4bgh/WGA_calc.html

[7] YSI: acrónimo referido a una estrategia básica en el equipo de cacharreo.es; ej. ¿y si probásemos eso...?

[8] <http://dyuthi.cusat.ac.in/xmlui/handle/purl/1432>

[9] "Quantum Leap" fue un computador de los 80, adelantado a su época, basado en el microprocesador Motorola 68008