

## El efecto Doppler en los satélites de radioaficionado

El efecto Doppler consiste en la variación en la longitud de onda de cualquier tipo de onda emitida o recibida por un objeto en movimiento.

En nuestro caso analizaremos de manera práctica como nos afecta en las comunicaciones a través de nuestros satélites de radioaficionados.

Los satélites de radioaficionado emiten y reciben ondas de radio frecuencia y además se mueven a velocidades relativamente altas para mantenerse en órbita; sufren por tanto, como acabamos de decir, la influencia del denominado efecto Doppler.

Sin meternos en muchas profundidades, diremos simplemente que cuando un objeto se nos acerca a una determinada velocidad, la onda que emite se verá incrementada por el efecto Doppler; cuando está en nuestra perpendicular la onda no tendrá prácticamente variación y empezará a disminuir a medida que el objeto se aleja.

Extrapolando esto a las frecuencias de RF de los satélites, diremos que cuando un satélite aparece en nuestro horizonte, la frecuencia en la que emite se verá incrementada por el efecto Doppler; por tanto nosotros debemos sintonizar en una frecuencia superior nuestro receptor para poder escuchar la portadora del satélite. Cuando pasa justo por nuestra perpendicular, es decir, justo a mitad del pase, la frecuencia no sufrirá ningún desplazamiento y coincidirá con la portadora que emite el satélite; y cuando se empieza a alejar de nosotros para desaparecer en nuestro horizonte, la frecuencia irá decreciendo, de forma que nosotros debemos ir bajando la frecuencia de recepción para no dejar de escuchar al satélite.

Este desplazamiento de frecuencia con respecto a la portadora del satélite es simétrico, lo que significa que el máximo desplazamiento por encima de la portadora cuando el satélite se acerca, coincide con el máximo desplazamiento cuando este se aleja.

El desplazamiento está determinado por la frecuencia de portadora del satélite y por la velocidad a que este se mueva, y será mayor cuanto mayor sean estas dos variables.

La siguiente fórmula nos permite calcular el máximo valor de desplazamiento de frecuencia, con respecto a la portadora en la que emite o recibe un satélite.

$$Fr = (Fp / Vl) * Vs$$

Fr es la frecuencia en la que recibiremos la señal del satélite.

Fp es la frecuencia de portadora en la que emite el satélite.

Vl es la velocidad de la luz.

Vs es la velocidad del satélite.

Vamos con un ejemplo

Calcularemos el máximo desplazamiento de frecuencia debido al efecto Doppler en la frecuencia de bajada de la ISS, que como sabemos emite en 145,800MHz.

$$Fr = (145.800.000\text{Hz} / 300.000.000\text{m/s}) * 7777\text{m/s} \Rightarrow 3.779\text{Hz}$$

Estos 3,7KHz serán por encima cuando la ISS se acerca y por debajo cuando se aleja.

145.800.000Hz + 3.779Hz = 145.803.779Hz cuando aparece en el horizonte.

145.800.000Hz - 3.779Hz = 145.796.221Hz cuando desaparece en el horizonte.

Si en vez de trabajar en la banda de VHF de la ISS lo hacemos en la de UHF, el desplazamiento por efecto Doppler será mayor, como ya hemos dicho, debido a que usamos una frecuencia de portadora mayor.

$$Fr = (437.800.000\text{Hz} / 300.000.000\text{m/s}) * 7777\text{m/s} \Rightarrow 11.349\text{Hz}$$

Vemos que en UHF el desplazamiento está por encima de los 11KHz.

Como norma general, a la hora de trabajar satélites de radioaficionado, diremos que en VHF el efecto Doppler está en torno a los +-3KHz; mientras que en la banda de UHF este variará en torno a los +-10KHz.

De todo esto podemos concluir que, si la bajada del satélite es en VHF, debemos empezar sintonizando unos 3KHz por encima de la frecuencia en la que emite el satélite; mientras que si es en UHF empezaremos unos 10KHz más arriba.

A la hora de emitir nuestra señal para que el satélite nos reciba, está claro que debemos tener en cuenta este mismo desplazamiento debido al efecto Doppler; pero ahora el ajuste de frecuencia de nuestro transmisor debe hacerse justo al revés; cuando el satélite se acerca debemos emitir unos 3KHz por debajo de su frecuencia en VHF, para que él nos escuche 3KHz por encima en su frecuencia de recepción; y unos 10KHz si estamos usando la banda de UHF para la subida al satélite.

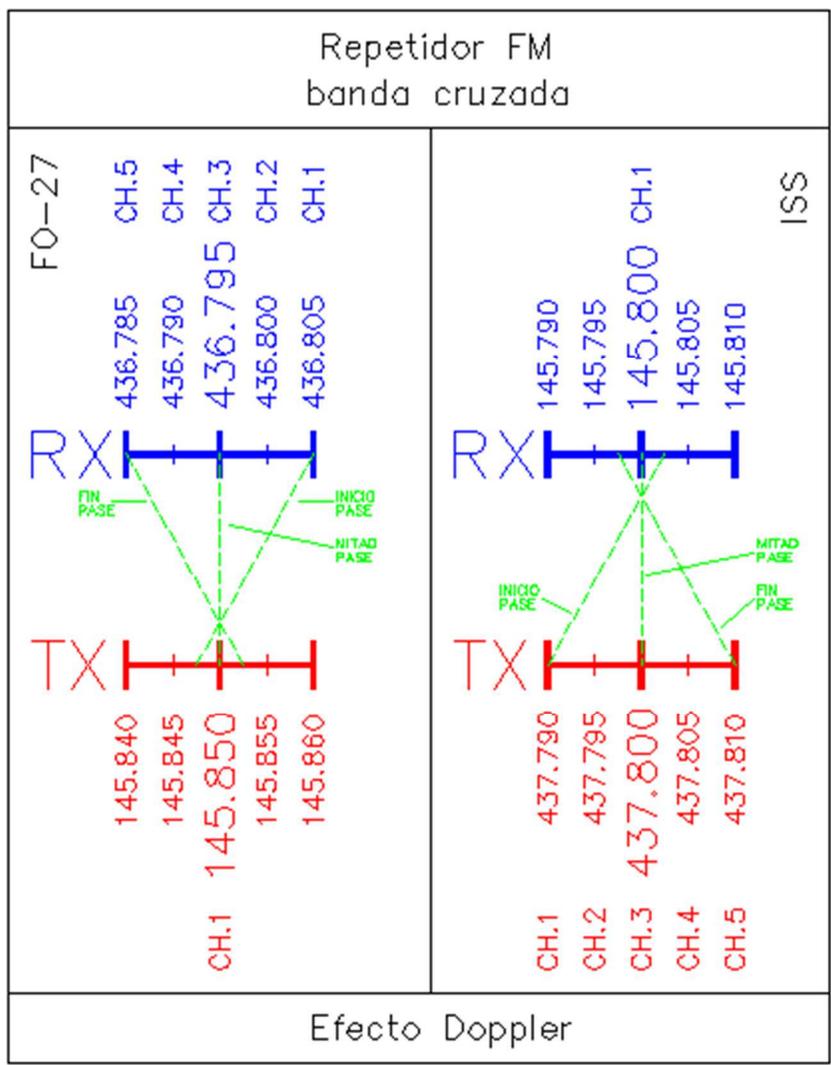
Nuestros satélites de radioaficionado trabajan principalmente con dos tipos de equipos de RF a bordo.

Los más sencillos son los de FM, que se comportan como simples repetidores voladores con cobertura internacional.

Al igual que los repetidores de FM de VHF y UHF que estamos acostumbrados a trabajar en local, los satélites de FM reciben en una frecuencia de entrada y retransmiten esa señal en otra frecuencia de salida. En este caso las frecuencias de recepción y transmisión están en bandas de frecuencias distintas, normalmente en VHF y UHF.

Para trabajar con estos satélites de FM, lo mejor es programar en nuestros equipos canales con una separación de 5KHz en la banda de UHF y un solo canal en la de VHF; ya que en esta banda si programamos un canal con la frecuencia del satélite, al tratarse de modulación FM la desviación de +-3KHz nos permitirá trabajar sin mayor dificultad, además cuando mejor trabajaremos el satélite es cuando ya tenga una cierta altitud sobre nuestra estación, lo que hace que el desplazamiento Doppler esté en torno a los +-2KHz máximo.

En la gráfica vemos de forma visual como varía el desplazamiento de frecuencia debido al efecto Doppler en las dos bandas (VHF y UHF). También vemos como programar las frecuencias de los canales.



Fijémonos sobre todo en la banda de UHF. Si esta banda es la usada para subir al satélite, es decir, donde nosotros debemos transmitir; entonces el CH.1 debemos programarlo con la frecuencia en la que debemos empezar a emitir cuando el satélite se nos acerca, y que deberá estar 10KHz por debajo de la frecuencia donde el satélite recibe. Por el contrario, si la banda de UHF es la que usamos para recibir, el CH.1 debemos programarlo con una frecuencia de 10KHz por encima de la frecuencia de transmisión del satélite.

A medida que el satélite atraviesa nuestra cúpula celeste, iremos desplazándonos del CH.1 al CH.5 en la banda de UHF.

El CH.3 corresponderá con la frecuencia del satélite sin efecto Doppler; y la usaremos en el momento en que tenga la mayor altitud sobre nuestra estación.

El CH.5 será el canal que usaremos cuando el satélite ya está bajando en el horizonte para desaparecer; y que en caso de transmisión estará 10KHz por encima de la frecuencia de recepción del satélite; mientras que si el CH.5 lo usamos en recepción, estará 10KHz por debajo de la frecuencia de transmisión del satélite.

Los otros satélites que no trabajan con equipos de FM abordo, montan los denominados transpondedores lineales invertidos.

Los transpondedores de los satélites retransmiten en un segmento de una banda, las señales que reciben en otro segmento de otra banda; permitiendo por tanto trabajar simultáneamente varias estaciones a la vez sin interferencia entre ellas. Al igual que los de FM, las bandas usadas normalmente son las de VHF y UHF.

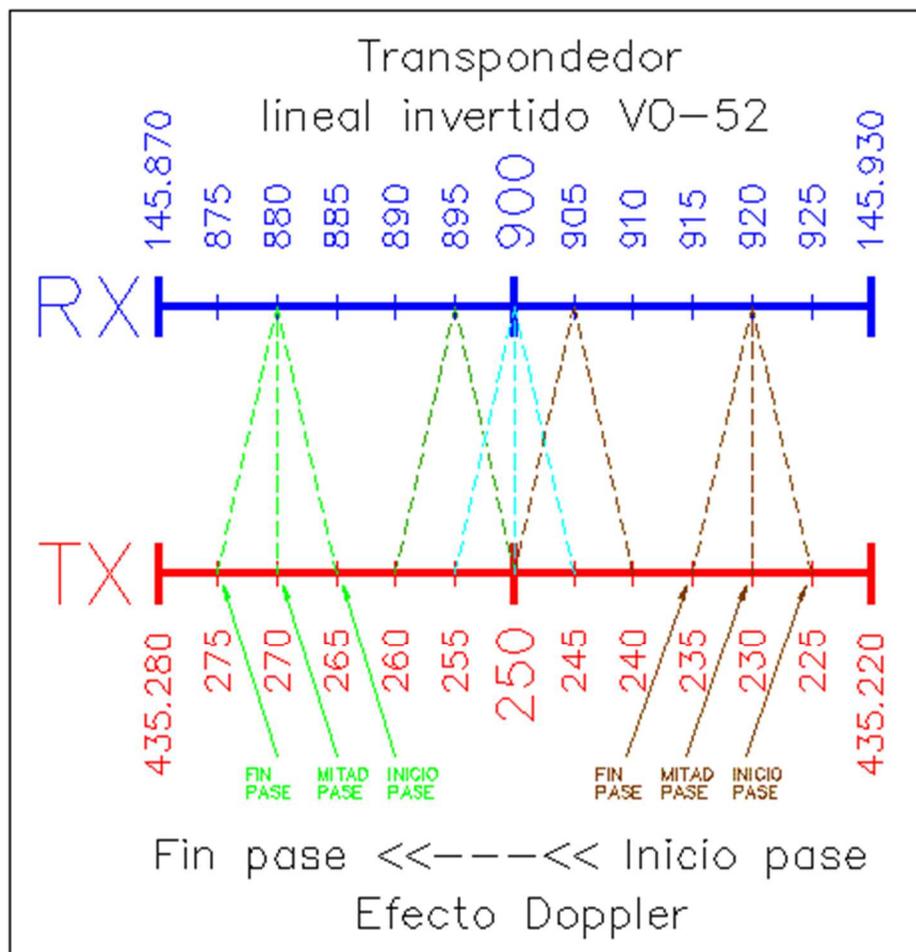
En estos satélites la modulación que se usa es la de banda lateral única (SSB), ya que su ancho de banda es menor y permite aprovechar mejor el segmento de frecuencias disponible. Como norma general se transmite siempre en LSB y se recibe en USB.

El hecho de que el transpondedor lineal sea invertido, significa que cuando nuestra frecuencia de transmisión está en la parte alta del segmento de recepción del satélite, este retransmitirá nuestra señal en la parte baja del segmento de su transmisor, o sea, nosotros recibiremos nuestra señal en la parte baja del segmento de recepción.

Esto se hace así, al igual que lo de transmitir en LSB y recibir en USB, para minimizar el desplazamiento por el efecto Doppler.

En los satélites que montan estos transpondedores lineales, debemos tomar siempre como referencia la frecuencia del centro del segmento de trabajo de las frecuencias del satélite, tanto en la subida como en la bajada.

El siguiente gráfico nos muestra claramente cómo funciona el transpondedor lineal invertido del satélite VO-52.



Vemos que el transpondedor inicia su segmento de frecuencias de transmisión (donde nosotros recibimos), en 145.870MHz y finaliza en 145.930MHz; teniendo como centro 145.900MHz, frecuencia esta que debemos tomar como referencia. El segmento de frecuencias de recepción del satélite (donde nosotros transmitiremos), empieza en 435.280MHz y finaliza en 435.220MHz; teniendo como frecuencia central 435.250MHz. El funcionamiento es el siguiente; si nosotros transmitimos en 435.250MHz, el satélite retransmitirá nuestra señal en 145.900MHz, dado que estamos en el centro del segmento de ambas bandas. Si desplazamos nuestra frecuencia de transmisión de 435.250MHz en 10KHz arriba, es decir, a 435.260MHz; entonces el satélite retransmitirá nuestra señal desplazada 10KHz por debajo de 145.900MHz, o sea, en 145.890MHz. Si, por el contrario, desplazamos nuestra señal de transmisión 10KHz por debajo de 435.250MHz, o sea, a 435.240MHz, entonces el satélite retransmitirá ahora nuestra señal 10KHz por encima de 145.900MHz, es decir, escucharemos en 145.910MHz. Esto es por lo que se denomina transpondedor lineal invertido.

Claro que todo esto solo será cierto en el momento que el satélite alcance su máxima elevación sobre nuestra estación, es decir, justo a mitad del pase, que como ya sabemos no habrá desviación de frecuencias por efecto Doppler.

Los triángulos de colores sobre los segmentos del transpondedor lineal invertido, nos ayudarán a entender de manera gráfica como trabajar con este satélite, o con cualquier otro que use este mismo sistema de transpondedores lineales.

Para hacer un buen uso del satélite y poder trabar sin molestar a otros colegas que estarán usando el satélite a la vez que nosotros, debemos fijar una frecuencia en la que vamos a recibir las señales del satélite; es decir, la frecuencia en la que escucharemos a nuestros corresponsales y también nos escucharemos a nosotros mismos; si tenemos dos equipos, o bien un equipo full duplex. De no ser así, y no poder autoescucharnos, debemos anunciar este hecho a los que pretendamos sean nuestros corresponsales para hacer los contactos, ya que si no las posibilidades de no poder completar el QSO y causar por tanto interferencia a otros colegas son muy elevadas.

Si podemos autoescucharnos, que es lo más recomendable en este tipo de satélites; entonces usaremos la ayuda de los triángulos de colores sobre los segmentos del transpondedor del satélite.

El vértice superior del triángulo representa la frecuencia de recepción, donde nosotros estamos escuchando al satélite y por tanto donde debemos autoescucharnos a nosotros mismos. Esta frecuencia en principio la mantendremos fija, y solo variaremos la frecuencia de transmisión para corregir el efecto Doppler.

Cuando el pase se inicia y el satélite empieza a acercarse a nuestra estación, debemos transmitir en las frecuencias del vértice inferior derecho del triángulo, para poder autoescucharnos en la frecuencia del vértice superior; e irnos desplazando hacia las frecuencias del vértice inferior izquierdo, a medida que el satélite cruza sobre nuestra cúpula celeste. Cuando el pase termine estaremos en las frecuencias del vértice inferior izquierdo. Observaremos entonces que entre las frecuencias del vértice inferior derecho, cuando el pase se inicia; y las del vértice inferior izquierdo, cuando el pase finaliza; hay unos 10KHz de desplazamiento.

Si comparamos estos triángulos con los de los satélites de FM, veremos que transmitiendo en la banda de UHF, el desplazamiento máximo para corregir el efecto Doppler y autoescucharnos en una frecuencia fija,

varia como máximo en 10KHz; mientras en los de FM varia el doble, 20KHz. Esto como ya hemos comentado es debido al efecto del transpondedor lineal invertido, más el hecho de transmitir en LSB y recibir en USB, lo que nos ahorra unos 10KHz de desplazamiento debidos al efecto Doppler.

Espero que este rollo que he soltado sirva de ayuda; y sobre todo que los gráficos aclaren de manera rápida e intuitiva como trabajar en satélites. Desde luego, a mí me han ayudado mucho para poder iniciarme como operador vía satélite; y de hecho me siguen ayudando.

Autor: EB1DGH

Fuente: <http://www.ealuro.com/eb1dgh/Satelites/Doppler.html>