

## **TECNOLOGIA DE LA MODULACIÓN EN FRECUENCIA (FM)**

### **Introducción**

La mejora de la calidad de transmisión que permitiese la emisión de sonidos de relativa calidad ( música ) no fue posible hasta el decenio de los treinta con el desarrollo de la modulación en frecuencia ( FM ).

La modulación en amplitud había sido la forma tradicional de incorporar información a una radiofrecuencia desde los orígenes de la radiotelegrafía y radiotelefonía. La posibilidad de modular la información en frecuencia era técnicamente factible desde comienzos de siglo veinte, pero no comenzó a aplicarse hasta los años treinta gracias a los experimentos de Edwing Amstron. Amstron, a diferencia de sus predecesores, creía que la frecuencia modulada tenía una clara aplicación en la radiodifusión. Muy al contrario, consideraba que la modulación en frecuencia sería el eje de la futura revolución de la radio. Compartía la idea de David Sarnoff cuando había señalado que la radio para convertirse en un medio útil necesitaba un desarrollo tecnológico que evitase el ruido en la transmisión. Armstrong con la ayuda de la empresa RCA realizó en 1933 experimentos de transmisión en FM desde el " Empire State " de New York. Sin embargo, el nacimiento de la televisión fue la causa de que el desarrollo de la FM pasara a un segundo plano durante finales de los años treinta y el decenio de los cuarenta, y no adquiriera su nueva dimensión hasta los años cincuenta con el nacimiento y desarrollo de la radio musical.

### **Ventajas de la FM frente a AM**

La modulación en frecuencia ofrece distintas ventajas en comparación con la radio de modulación en amplitud ( AM ):

1. Su modulación y anchura de canal confieren a la FM la habilidad para reproducir un mayor rango dinámico de audiofrecuencias ( horquilla de frecuencias correspondientes al espectro de la energía sonora ). Esto le ofrece a la FM mayor capacidad para reproducir sonidos de alta fidelidad. Mientras la AM se limita a una reproducción de sonidos con una frecuencia de 5 KHz, la FM es capaz de alcanzar los 15 KHz, cifra que constituye prácticamente todo el rango audible del espectro sonoro. Como consecuencia, la audición de la frecuencia modulada es auténtica y agradable.
2. La FM es casi inmune a las interferencias. Por una parte porque la banda de VHF está significativamente menos afectada por las interferencias atmosféricas; y por otra, porque la frecuencia de la onda ( la FM modula en frecuencia ) no está influida por las interferencias eléctricas de los receptores ( estas interferencias se denominan estáticas y son producidas cuando los altavoces captan electricidad de su entorno ) o por lo menos en menor medida que la amplitud ( la amplitud de una onda depende de la electricidad que recibe ).
3. El diseño de los circuitos de la modulación en frecuencia ( en el receptor ) producen lo que se denomina " efecto captura ", que impide que una señal que está sintonizada pueda ser interferida por otras señales más débiles procedentes de otras estaciones.
4. Los canales de FM tienen una anchura muy superior a sus necesidades ( aproximadamente 20 veces más amplios que los de AM ). Esta capacidad extra de espacio permite que las estaciones de FM puedan incluir señales adicionales por medio de la técnica de " multiplexión ". La multiplexión de frecuencia permite que una inteligencia adicional pueda ser combinada con la información principal, se traslade simultáneamente por el mismo canal y en el receptor sea separada para usos independientes o complementarios. El empleo más tradicional de esta anchura de canal ha sido la emisión de una segunda señal ( un segundo sonido ) para producir el sonido estereofónico. La utilización de inteligencias adicionales para usos no complementarios con la información principal es la base de las nuevas tecnologías aplicadas a las estaciones de modulación en frecuencia.

### **Características de la FM**

Las características principales de la frecuencia modulada son: su modulación y su propagación por ondas directas como consecuencia de su ubicación en la banda de frecuencia de VHF.

La modulación en frecuencia consiste en variar la frecuencia de la portadora proporcionalmente a la frecuencia de la onda moduladora ( información ), permaneciendo constante su amplitud. A diferencia de la AM, la modulación en frecuencia crea un conjunto de complejas bandas laterales cuya profundidad ( extensión ) dependerá de la amplitud de la onda moduladora. Como consecuencia del incremento de las bandas laterales , la anchura del canal de la FM será más grande que el tradicional de la onda media, siendo también mayor la anchura de banda de sintonización de los aparatos receptores ( especie de " puerta electrónica " de los aparatos receptores que permite que pase a la etapa de demodulación una

determinada anchura de señal ).La principal consecuencia de la modulación en frecuencia es una mayor calidad de reproducción como resultado de su casi inmunidad hacia las interferencias eléctricas. En consecuencia, es un sistema adecuado para la emisión de programas ( música ) de alta fidelidad. Las características derivadas de su mayor anchura de canal no son consecuencia directa de la tecnología de FM ( aunque este tipo de modulación necesita un mayor consumo de espectro ), sino de una decisión política de comunicación. Cuando se desarrolló la frecuencia modulada, la banda de MF ( tradicional en los servicios de radio ) estaba completamente saturada, por lo que se adjudicó la banda de VHF, espectro que ofrecía grandes posibilidades de expansión para los nuevos servicios de radiodifusión. La televisión también se aprovechó de la saturación de media frecuencia. La ausencia de una limitación de la banda de VHF y el ánimo de otorgar a la FM la posibilidad de emitir programación de alta fidelidad, hizo que los canales de frecuencia modulada tuvieran una capacidad muy superior a sus necesidades. Aunque la anchura de los canales depende de decisiones concretas de cada Estado, la mayoría de las naciones han adjudicado a la FM unos canales con una anchura entre 100 y 200 KHz. Si consideramos que todo el espectro de audiofrecuencia necesita una amplitud de 20 KHz, podemos concluir que un canal de FM puede emitir simultáneamente por medio de una multiplexión de frecuencias entre cinco y diez canales completos de alta fidelidad ( esta división no es exacta ya que se necesita la ubicación de frecuencias de separación entre cada una de las señales ).

La propagación de la banda de VHF ( al igual que la UHF y frecuencias superiores ) se realiza por medio de las llamadas ondas directas o espaciales, que se caracterizan por su direccionalidad y, en consecuencia, su limitada cobertura ( las ondas directas se pierden en el espacio cuando confluyen con la línea del horizonte ).Esta direccionalidad hace que las señales de FM puedan ser fácilmente absorbidas o " apagadas " por los obstáculos que encuentra en su trayectoria. La banda de VHF tiene un índice de refracción atmosférica ( pequeño declive que hace que su cobertura máxima sea superior al simple horizonte óptico ) superior a las bandas de frecuencia más altas ( UHF por ejemplo ) y en consecuencia pueden alcanzar mayores coberturas. A pesar de la refracción troposférica, la propagación de la banda de VHF se caracteriza por su pequeña cobertura, comparada con la alcanzada por la AM, como consecuencia de la direccionalidad de las ondas directas o espaciales.

Su pequeña cobertura convierte a la frecuencia modulada en un servicio de radio fundamentalmente local ( el empleo de repetidores puede incrementar su cobertura ).

La escasa longitud de onda de esta banda de frecuencia hace que las antenas sean de pequeñas dimensiones y consecuentemente tengan una polarización horizontal. Sus semejanzas con las antenas de televisión ( en longitud y polarización ) produce que en la mayoría de los hogares la antena de FM esté incorporada en la propia antena de TV, y en definitiva las antenas de televisión sirvan para la captación de señales de modulación en frecuencia.

Las dificultades de recepción de la FM en los automóviles ( generalmente antenas de polarización vertical ) ha motivado que las estaciones de frecuencia modulada empleen con frecuencia antenas diseñadas para radiar la señal en ambos planos, horizontal y vertical. Estas antenas, denominadas de polarización circular, permiten que los receptores capten la misma intensidad de señal independientemente de la polarización de la antena receptora.

#### **Nuevas tecnologías de la FM**

1. **Multiplexión de señales relacionadas con la información principal: el sonido estereofónico.**
2. **Multiplexión de señales independientes: comunicaciones subsidiarias.**
3. **Sistemas de ampliación de cobertura.**

A diferencia de la onda media, las nuevas tecnologías relacionadas con la FM se vinculan con los métodos destinados a conseguir una plena utilización de la anchura del canal ( multiplexión de frecuencia ), y al logro de una mayor cobertura que subsane, por lo menos en parte, las limitaciones de este servicio derivadas de su propagación por ondas directas.

Por regla general los canales de los servicios de frecuencia modulada tienen una anchura muy superior a la que necesita la transmisión de una única señal aunque sea de alta fidelidad. Esta amplitud de canal permite que las emisoras de FM puedan transmitir simultáneamente distintas señales a través de la técnica denominada multiplexión de frecuencias. La multiplexión de frecuencias, como opuesta a la emisión de una única señal ( " simplexing " ), consiste en la transmisión simultánea de diversas " inteligencias " o señales dentro de un mismo canal. Para la realización de esta técnica se necesita dividir el canal en distintos subcanales, cada uno de los cuales tiene una portadora diferente modulada con su correspondiente información. En definitiva, y a modo de analogía, la multiplexión se podría comparar con la utilización de diferentes transmisores ( cada uno de ellos con su correspondiente portadora y modulando una determinada información ) en un mismo canal. Para la recepción de esta señal compuesta (

varias señales ) se necesita el empleo de un aparato especial diseñado específicamente para la demodulación de cada uno de los subcanales. Verdaderamente, no se trata de una nueva tecnología ya que los servicios de FM la están empleando desde hace tiempo para su propio funcionamiento y más concretamente para el control remoto de las operaciones de la emisora. Igualmente y a partir de los sesenta se ha utilizado la multiplexión para la transmisión de sonido estereofónico ( utilización de dos canales ), y también más tarde para la emisión de música a suscriptores ( denominada comunmente " zamak " ).

#### **1. Multiplexión de señales relacionadas con la información principal: el sonido estereofónico.**

La estereofonía se caracteriza por ofrecer una calidad tridimensional al sonido, es decir, una reproducción parecida a la que se obtendría si se estuviese escuchando en directo. Un receptor estereofónico, en consecuencia, brinda al oyente un sonido con las características de profundidad y direccionalidad. Con relativa frecuencia se menciona que la estereofonía aplicada a la radio sólo tiene sentido para la emisión de música de alta fidelidad, menospreciando, en consecuencia, su empleo para programas no musicales. Si bien es cierto que el sonido estereofónico tiene un mayor realce en programaciones musicales, su empleo en espacios hablados ofrece al oyente una sensación de sonido en " vivo " digna de ser tenida en cuenta.

Para conseguir esta audición es preciso que cada oído reciba particularmente una porción de sonido de forma similar a las audiciones en directo. En consecuencia, para lograr un sonido estereofónico se necesita el empleo de dos canales separados en donde cada uno de ellos representa la audición individual de cada oído. Estos canales independientes son producidos en el emisor por el empleo de varios micrófonos, y en el receptor son recreados por la existencia de dos altavoces. Desde un punto de vista tecnológico, una señal estereofónica necesita una anchura de canal suficiente para transmitir dos subcanales audio distintos y separados ( los correspondientes al canal izquierdo y derecho ), y el receptor debe estar diseñado especialmente y tener los circuitos precisos para procesar ( demodular ) separadamente los dos subcanales. Este proceso se realiza por medio de la técnica de multiplexión de frecuencia y es relativamente sencillo para los servicios de frecuencia modulada ya que cuenta con un canal suficientemente amplio como para transmitir simultáneamente dos informaciones separadas. Sin embargo, este método sencillo de transmitir sonido estereofónico tiene el inconveniente de que la señal de la emisora sólo pueda ser captada por aquellos receptores especialmente diseñados para recibir programación en estéreo. Dicho de otra manera, los receptores convencionales no podrían percibir la señal de esa estación ni estereofónica ni monofónica. Como consecuencia, la mayoría de países obligan a las estaciones estereofónicas ( algo similar ocurriría con la onda media estereofónica ) a seguir el principio de compatibilidad tecnológica que significa sencillamente que todas las señales ( emisoras ) puedan ser sintonizadas por cualquier aparato convencional ( monofónico ), independientemente de la tecnología que utilice para incrementar la calidad de transmisión ( multiplexión ), aunque estas mejoras sólo puedan ser disfrutadas por aparatos receptores especiales.

Para que la señal pueda ser recibida por los receptores monofónicos, es preciso que uno de los subcanales ( a través de la tecnología de modulación en fase ) sea modulada por ambas informaciones ( izquierda y derecha ), mientras el segundo subcanal lo es solamente con una de ellas ( por ejemplo, la derecha ). Cuando esta señal compleja es recibida por un receptor monofónico, sólo es demodulado el subcanal con ambas informaciones ( los receptores monofónicos no tienen los circuitos necesarios para detectar una modulación en fase ). Posteriormente esta señal es enviada a un amplificador común y posteriormente a un altavoz también común reproduciéndose como si fuese un sonido monofónico tradicional. Por el contrario, un receptor estereofónico detecta la modulación en fase del subcanal principal, demodula una de las informaciones y rechaza la otra ( que se corresponde con la información que es transmitida por el segundo subcanal ). De la misma manera otro circuito del receptor demodula la información correspondiente al segundo subcanal. Ambas señales son enviadas a distintos altavoces reproduciendo un sonido estereofónico. Además de estos dos subcanales, la emisión de sonido estereofónico necesita la transmisión de un tercer subcanal, llamado " piloto ", que sirve para conectar la pequeña luz roja de los receptores que indica visiblemente la presencia de una señal estereofónica, y también sirve como una referencia electrónica que activa los circuitos de demodulación de fase del aparato receptor.

#### **2. Multiplexación de señales independientes: comunicaciones subsidiarias.**

Por medio de la técnica de multiplexación, la anchura de banda de los canales de frecuencia modulada puede ser empleada también para la transmisión de informaciones no relacionadas con la radiodifusión, sino destinadas a públicos restringidos, empresas o personas individuales. Estos subcanales pueden emplearse para ofrecer música de fondo a empresas particulares ( " muzak " ), transmisión de textos ( facsímil ) y otros servicios individuales como pagos, control y distribución de información, etc. Estos servicios de las emisoras de FM no relacionados con la radiodifusión se denominan genéricamente " comunicaciones subsidiarias ". Para la sintonización de estos servicios se necesita un aparato receptor especial y el pago de una suscripción a la emisora.

La tecnología de estos servicios es parecida y más sencilla que la señalada anteriormente con respecto a la estereofonía. La sencillez del procedimiento se deriva de la no obligatoriedad de una compatibilidad técnica con los receptores convencionales, lo que permite realizar una multiplexión completamente separada de las diferentes informaciones. Una emisora de FM que transmita una determinada comunicación subsidiaria, crea una portadora independiente dentro de un espacio libre del canal y la modula con la información deseada ( se puede emplear cualquier tipo de modulación en estos servicios. La elección dependerá de la calidad que necesite el tipo de información que transmita ). Este subcanal independiente no puede ser recibido por los receptores de radio convencionales ( ni monos ni estéreos ) ya que no están diseñados para sintonizar la frecuencia de estos subcanales. De igual manera, los receptores especiales destinados para captar los servicios subsidiarios no pueden recibir las señales convencionales de radiodifusión. La necesidad de utilizar un receptor especial justifica el pago de una cuota o suscripción para su recepción.

Dentro de los servicios subsidiarios de la FM el de mayor proyección quizá sea la transmisión por un subcanal de material impreso o gráfico, es decir, el facsímil. Se entiende genéricamente por facsímil las técnicas y procesos de copia y reproducción a distancia de elementos visuales por medio de cable ( telégrafo o teléfono ) u ondas de radio. La tecnología básica de transmisión de facsímil a través de un canal de FM es por medio de multiplexación de frecuencias.

### **3. Sistemas de ampliación de cobertura.**

El localismo de la FM es , junto a su anchura de banda y calidad de emisión, una de las características fundamentales de este servicio de radio. Si la mayor calidad se fundamenta en su modulación de frecuencia, y la capacidad se basa en su ubicación en la banda de VHF; la pequeña cobertura de sus emisiones se deriva de su propagación por ondas directas, radiación típica de la banda de " muy alta frecuencia ". A diferencia de la Onda Media que se difunde por ondas de superficie, la direccionalidad de la FM impide que sus señales consigan grandes distancias. En consecuencia, y tomando como principio esta limitación técnica, el servicio de FM se ha concebido como un medio fundamental local, en contraposición con el carácter nacional de la Onda Media. Esto no significa, naturalmente, que no existan cadenas de frecuencia modulada, sino simplemente que se incrementan las dificultades técnicas para su consecución y en consecuencia también su costo. Los métodos actuales más eficaces para superar el localismo de la frecuencia modulada son fundamentalmente el satélite y en menor medida los retransmisores. La utilización del satélite como medio de distribución alternativo y económico, en comparación con los sistemas terrestres, puede modificar la concepción local del servicio de FM. Como consecuencia, es factible el desarrollo de cadenas de radio con fórmulas musicales.

El localismo del servicio de frecuencia modulada derivado de su sistema de propagación tradicionalmente ha producido que muchas zonas no puedan recibir emisiones provenientes de estaciones de FM. Para limitar estos inconvenientes se emplean actualmente los denominados retransmisores ( translators ), que como en casos anteriores no se trata propiamente de una nueva tecnología, sino de una moderna aplicación de una tecnología ya tradicional y empleada en radio casi desde sus orígenes.

Los retransmisores de FM, a diferencia de los simples repetidores que sencillamente amplifican una señal determinada para que alcance una mayor cobertura, se basan en una estación convencional de FM que sirve a modo de satélite terrestre o como una extensión de otra emisora de frecuencia modulada. Es decir, está formado por un receptor / transmisor de FM de pequeña potencia que recibe la señal ( débil ) de una estación convencional de frecuencia modulada, y la retransmite empleando para ello un canal diferente al utilizado por la estación original. Como consecuencia, los retransmisores no introducen programación propia sino simplemente sirven para incrementar la cobertura de una determinada estación de FM.

Tecnológicamente, su funcionamiento es muy sencillo. El receptor, por medio de una antena, recibe la señal de la estación original de FM y demodula la información de audio. Por otra parte, el transmisor correspondiente vuelve a modular esa información en otra portadora con diferente frecuencia ( distinto canal ) para que sea transmitida por la correspondiente antena.