

# Unidad de aprendizaje: Comunicaciones vía microondas y satelital

Saul Lazcano Salas

Universidad Autónoma del Estado de  
México  
Centro Universitario UAEM Valle de México  
Ingeniería en Sistemas y Comunicaciones

**Unidad 1: Introducción a los sistemas de comunicación en radio frecuencia**

Marzo 2016





**Programa de Estudio Por Competencias  
 COMUNICACIÓN VIA MICROONDAS Y SATELITAL**

**I. IDENTIFICACIÓN DEL CURSO**

<b>ESPACIO ACADÉMICO:</b> Centro Universitario UAEM Valle de México								
<b>PROGRAMA EDUCATIVO:</b> <b>INGENIERIA EN SISTEMAS Y COMUNICACIONES</b>				<b>Área de docencia:</b> Área de Acentuación Profesional en Telecomunicaciones				
<b>Aprobación por los H. H. Consejos Académico y de Gobierno</b>		<b>Fecha:</b> Fecha de actualización:		<b>Programa elaborado por:</b> <b>Francisco Rafael Batllori Sampedro</b>			<b>Fecha de elaboración:</b> <b>3 / Mayo / 2012</b>	
Clave	Horas de teoría	Horas de práctica	Total de horas	Créditos	Tipo de Unidad de Aprendizaje	Carácter de la Unidad de Aprendizaje	Núcleo de formación	Modalidad
L32315	2	2	4	6	Curso	Optativa	Integral	Presencial
<b>Prerrequisitos (Conocimientos Previos)</b> Sistemas, señales y comunicación analógica y digital Transmisión y comunicación de datos.			<b>Unidad de aprendizaje antecedente</b> Ninguna			<b>Unidad de aprendizaje consecuente</b> Ninguna		
<b>Programas educativos en los que se imparte:</b> Ingeniería en Sistemas y Comunicaciones								

- El presente material tiene como objetivo servir de punto de apoyo para la UDA: Comunicaciones vía microondas y satelital, de la carrera de Ing. en Sistemas y Comunicaciones.
- Lo recomendado es que este material sea acompañado de ejercicios conforme se avancen con los puntos que se muestran.
- Adicionalmente, se recomienda realizar simulaciones sobre diferentes esquemas de codificación de canal y su efecto en la SNR de la señal.
- Para la parte de codificación de canal, destacar el impacto del trabajo de Shannon en la teoría de códigos en particular y en comunicaciones digitales en general.

## 1 ¿Que es radio frecuencia?

- Clasificación

## 2 Medios de propagación

- Espacio libre
- Línea de vista
- Otros factores a considerar
- Modulación de la señal



- Radiofrecuencia (o simplemente RF), abarca señales en un rango de frecuencias desde 3KHz hasta 3GHz (varía acorde al autor consultado).
- En un rango tan generoso de frecuencias, existen muy diversos usos, como:
  - Comunicaciones
  - Radioastronomía
  - Medicina
  - Hogar
  - Y muchos más ...
- El organismo responsable de gestionar y regular su uso es la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT).



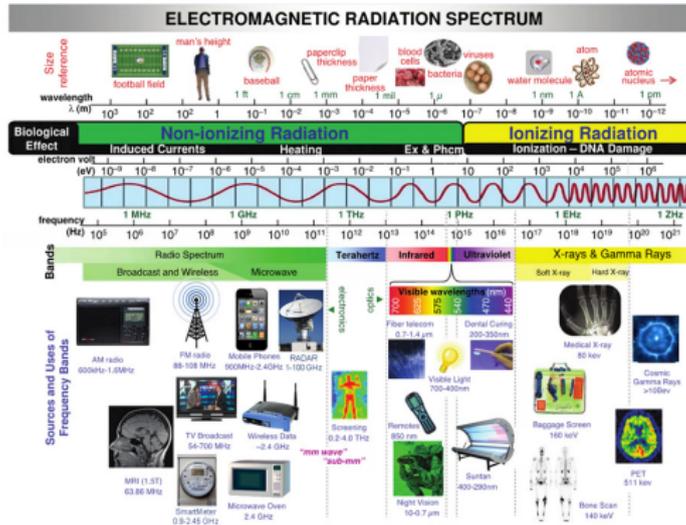
# Clasificación de microondas

BANDA UIT	BANDA	ABREVIATURA	FRECUENCIAS
4	Muy baja frecuencia	VLF	3-30 KHz
5	Baja frecuencia	LF	30-300 KHz
6	Frecuencia media	MF	300-3000 KHz
7	Alta frecuencia	HF	3-30 MHz
8	Muy alta frecuencia	VHF	30-300 MHz
9	Ultra alta frecuencia	UHF	300-3000 MHz
10	Super alta frecuencia	SHF	3-30 GHz
11	Extremadamente alta frecuencia	EHF	30-300 GHz
12	Tremendamente alta frecuencia	THF	300-3000 GHz

En la tabla anterior, cabe destacar que muchos autores no consideran la banda 12 UIT como parte de RF. ¿Que usos o servicios pueden estar en las bandas anteriores?



¿Donde se ubica radio frecuencia dentro del espectro Electromagnético?



Espectro EM. Tomado de: <http://www.marisolcollazos.es/noticias-informatica/?p=3759>



- Para sistemas de comunicaciones en RF, el principal medio de propagación es el espacio libre, es decir, las comunicaciones inalámbricas.
- Cabe destacar que para microondas, se puede emplear la guía de ondas de igual modo.
- ¿Que problemática puede presentarse en la atmósfera para un sistema de comunicaciones en RF?



Existen diversos problemas asociados a la atmósfera, entre los cuales destacan:

- Atenuación inherente de la señal en la atmósfera.
- Necesidad de una línea de vista entre los extremos.
- Multitrayectoria.
- Fuerte desvanecimiento por el clima (lluvia, granizo, nieve).

Adicionalmente, la frecuencia de la señal a ser transmitida es otro elemento, por encima de 10 GHz se tiene que considerar la absorción atmosférica y las precipitaciones de manera muy puntual. Por abajo de dicha frecuencia, no son un factor tan determinante.



# Pérdidas en el espacio libre

- La atenuación de la señal está en función de la distancia recorrida, a mayor distancia, mayor atenuación en la señal.
- De igual modo, la frecuencia influye; una señal de alta frecuencia se atenúa con mayor intensidad que una de baja frecuencia.
- Las pérdidas en el espacio libre se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$FSL = \frac{4\pi d}{\lambda}$$

Donde:

- $d$  es la distancia del enlace
- $\lambda$  es la longitud de onda de la señal.



La ecuación anterior puede emplearse para obtener una métrica de la atenuación de la señal, sin embargo, resulta mas simple trabajar en el dominio logarítmico, y expresar dicha pérdida en decibeles:

- $FSL_{dB} = 20 \log\left(\frac{4\pi d}{\lambda}\right)$

Reacomodando la ecuación anterior para que la frecuencia esté en megahertz y la distancia en kilómetros ...

- $FSL_{dB} = 36,58 + 20 \log(D_{km}) + 20 \log(F_{MHz})$



Considere los siguientes ejemplos:

- Enlace de 10km, señal de 7GHz

$$FSL_{dB} = 36,58 + 20\log(10) + 20\log(7000) = 133,48dB$$

- Enlace de 10km, señal de 4GHz

$$FSL_{dB} = 36,58 + 20\log(10) + 20\log(4000) = 128,62dB$$

- Enlace de 6km, señal de 5GHz

$$FSL_{dB} = 36,58 + 20\log(8) + 20\log(5000) = 130,2dB$$

Note en los ejemplos anteriores el fuerte impacto de la distancia en la atenuación de la señal ...





- La refractividad se ve aterrizada en un factor  $K$ , factor de escalamiento que permite aterrizar y cuantificar la curvatura de un enlace.

$$K = \frac{r}{r_0}$$

- $r$ : radio del enlace (curvatura).
- $r_0$ : radio de la corteza terrestre.

La dificultad de poder conocer de manera precisa el radio  $r$  del haz de radiación, hace difícil poder emplear directamente esta fórmula, por lo cual se hacen ciertas consideraciones sobre la refractividad terrestre.



Por lo anterior, la fórmula se aproxima como sigue:

$$\frac{r}{r_0} = K \approx \left(1 + \frac{r_0 \Delta n}{\Delta h}\right)^{-1}$$

- $\Delta n$ : Variación de índices de refractividad atmosférica
- $\Delta h$ : Variación de la altura entre el punto mas elevado del enlace y el mas bajo.

Para el cálculo anterior, existen tablas proporcionadas por la UIT en donde, acorde a la región, se pueden obtener los valores de las variables antes indicadas. Por simplicidad, se considera  $K = \frac{2}{3}$  es decir, un enlace con condiciones difíciles.



- Para analizar el tema de obstáculos en el enlace, una primer aproximación se puede obtener al analizar de manera directa si entre los extremos del enlace existe una vista directa, es decir, si no hay obstáculos aparentes.
- El siguiente punto a analizar, son las llamadas zonas de Fresnel, que en esencia es considerar que el haz de energía no es un rayo hipotético, en realidad el haz se expande, muy similar a una elipse.
- Es decir, esencialmente las zonas de Fresnel buscan darle suficiente espacio al haz de energía, al enlace mismo.



- Para calcular las zonas de Fresnel, se considera la siguiente fórmula:

$$R_n \simeq \sqrt{n\lambda \left( \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)}$$

- Reajustando la ecuación anterior para que las distancias estén dadas en *km*, la frecuencia en *GHz* y el radio  $R_n$  en *m* ...

$$R_n \simeq 17,3 \sqrt{\frac{n}{F_{GHz}} \left( \frac{d_1 d_2}{d_1 + d_2} \right)}$$

- Por lo general, se puede considerar la segunda zona de Fresnel para asumir que el enlace estará libre de posibles obstáculos.



Existen otros factores que se deben de considerar al momento de planificar un enlace, tales como:

- Tipo de suelo: Este factor es muy importante, el suelo sobre el cual se establece el enlace puede ser un factor muy importante para temas relacionados con multitrayectorias.
  - Suelos planos como arenas, o zonas de agua, resultan con un efecto de rebote de la señal muy notorio, dando lugar a interferencias por multitrayectorias.
  - Suelos rocosos o con pendientes resultan muy adecuados, aunque se tendrá de igual manera rebote de la señal, dichos rebotes rara vez se redirigen hacia el receptor, la probabilidad de interferencia por multitrayectoria es baja.
- Lo anterior puede mitigarse aumentando un poco la altura de las torres o con antenas y radios que permitan diversidad en la recepción.



Continuando con el listado anterior, las condiciones de la atmósfera afectan la calidad del enlace.

- Siempre es preferible condiciones estables, permiten poder predecir fácilmente las características del enlace.
- Enlaces en altitudes marcadas, pueden ocasionar que la señal rebote en la atmósfera, ocasionando un desvanecimiento adicional.
- Durante la noche, la atmósfera puede llegar a comportarse como una guía de onda que permite que la señal prácticamente rebote y alcance mayores distancias sin desvanecerse marcadamente.
- Una atmósfera nubosa puede actuar en contra del enlace, generando interferencia por multitrayectoria.

Afortunadamente, esta problemática puede contrarrestarse con la elección de antenas de alta directividad.



Finalmente, la elección de los sitios para el enlace juega un rol en ocasiones, determinante para el mismo.

- La elección del sitio de instalación.
  - ¿Hay acceso al mismo en caso de alguna reparación o verificación?
  - ¿El sitio elegido es el mas alto en la zona?
  - ¿Cual será el coste de la posible renta que se deba de pagar para poder montar la torre y aditamentos?
  - ¿Existen otros enlaces en la misma ubicación que pudiesen generar interferencia?



- Estudio de la topografía de la zona
  - ¿Se consideraron las condiciones topográficas? ¿Cerros? ¿Desniveles?
  - ¿Se consideraron las alturas de los edificios entre los extremos del enlace?
  - En este punto, se recomienda el uso de herramientas como Radio Mobile (<http://www.cplus.org/rmw/english1.html>) o como airLink (<http://airlink.ubnt.com/#/>) ambos de uso libre.
  - Otras herramientas SW al respecto: MapInfo (<http://www.mapinfo.com>), Atoll (<http://www.teleres.com.au/Atoll>) ambas con coste en su uso, entre otras muchas herramientas.



# ¿Que es modular?

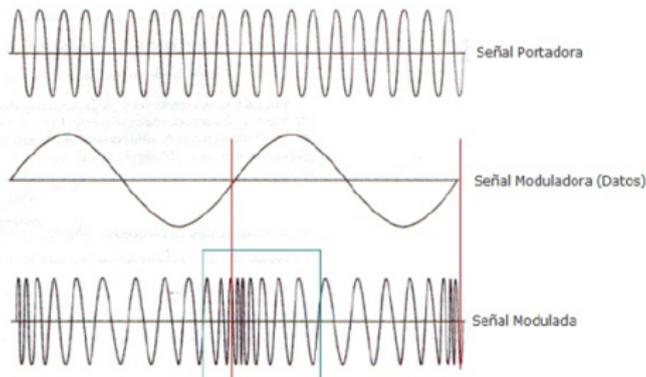
- Modular en un sentido estricto, es el proceso mediante el cual la señal se adecua para poder ser transmitida. Generalmente este proceso se realiza con la ayuda de una 2da señal.
- En este proceso, se debe poder diferenciar si la señal es analógica o digital, las técnicas difieren de una a otra.
- Por lo general, los sistemas basados en procesamiento digital de la señal predominan, proporcionan una mayor inmunidad al ruido a la señal durante la transmisión, entre otras muchas ventajas.
- Sin embargo, para enlaces de microondas, es común encontrarse con sistemas basados en señales analógicas.





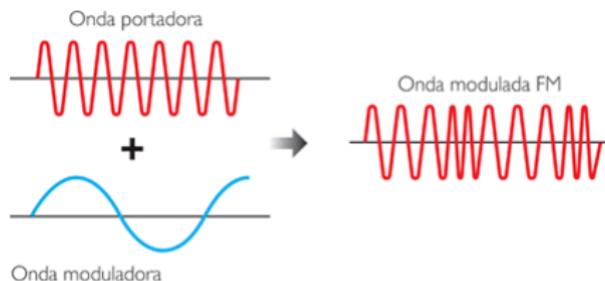
# Modulación analógica

- Modulación angular, de la cual hay dos variantes: por frecuencia y por fase.
- En la modulación por fase, se hace variar la fase de la señal transmitida en relación con la información que se quiere transmitir.



# Modulación analógica

- Modulación por frecuencia.
- De manera similar, en este caso se hace variar la frecuencia de la señal transmitida en relación con la información que se quiere transmitir.



Para la modulación digital, existe una gama muy generosa de variantes para realizar esta tarea, de manera general se pueden agrupar prácticamente de manera similar a la modulación analógica:

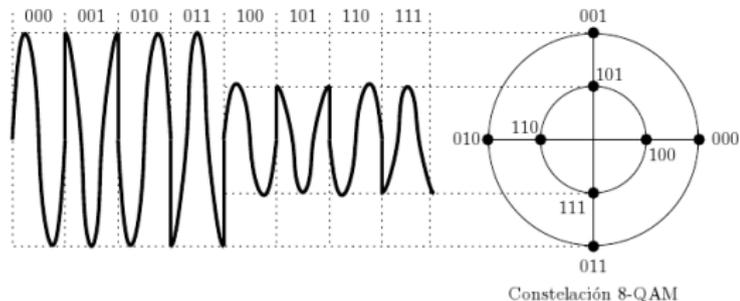
- Modulación por amplitud.
- Modulación por frecuencia.
- Modulación por fase.



- Modulación por amplitud: También conocida como modulación de amplitud, el caso mas empleado es la modulación por amplitud en cuadratura, o QAM, la información está contenida tanto en la amplitud como en la fase de la portadora que se transmite.
- En esencia, se hacen variar estos 2 parámetros para mapear los símbolos en un espacio euclidiano n-dimensional, cada punto representa un símbolo diferente.
- Es decir, se divide el plano n-dimensional (bidimensional regularmente) en m regiones, donde m es el número de símbolos.
- Por lo general, m es potencia de 2 ( $2^k$ ), k=núm de bits por símbolo.



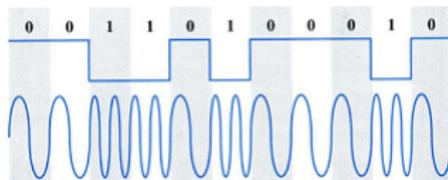
- Sea por ejemplo, 8-QAM



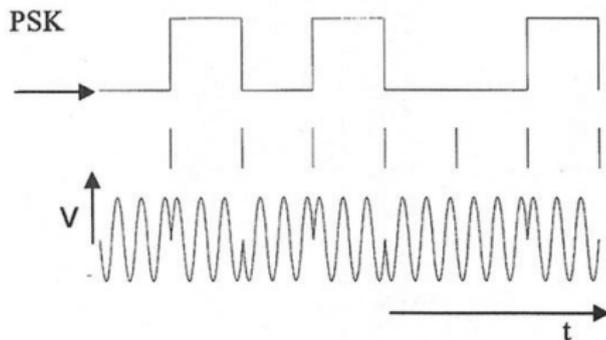
- El espacio se divide en 8 zonas, cada una corresponde a 1 símbolo. Haciendo variar el ángulo y distancia desde el origen (magnitud y fase), se alcanza cada punto dado.



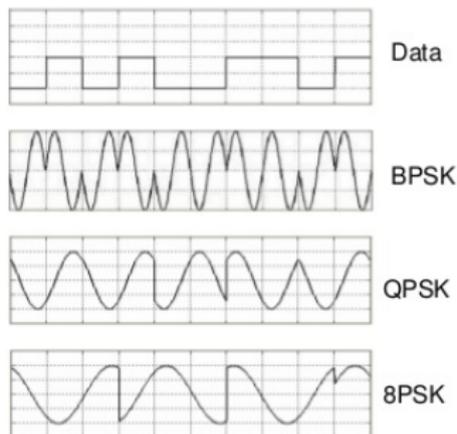
- Modulación por frecuencia: También conocida como modulación por desplazamiento de frecuencia, o FSK.
- En esencia, se hace variar la frecuencia acorde al número de símbolos que se tenga en el alfabeto binario empleado.
- Sea por ejemplo, el caso mas simple, 2 símbolos: 0 o 1



- Finalmente, la modulación por fase o mejor conocida como modulación por desplazamiento de fase, es muy similar a su contraparte analógica con la diferencia de trabajar con trenes de bits.
- En esencia, se hace variar la fase acorde al número de símbolos que se tenga en el alfabeto binario empleado.
- Sea por ejemplo, el caso mas simple, 2 símbolos: 0 o 1



Por supuesto, existen variantes mas allá del caso 2 símbolos: como 4 símbolos (QPSK) u 8 símbolos (8PSK):



En resumen:

- QAM: Muy usada por su eficiencia espectral y tolerancia al ruido, complejidad ligeramente superior que PSK. Usada para sistemas de gran capacidad (esquemas superiores a QAM).
- PSK: Características de eficiencia espectral y tolerancia a ruido ligeramente superior que FSK, usada principalmente en sus modos DPSK y QPSK en comunicaciones satelitales, sistemas GPS, radares, por su tolerancia al desfase. Esquemas superiores a QPSK difícilmente se emplean por su complejidad.
- FSK: Usado por su gran simplicidad en sistemas muy económicos o con fuertes limitantes en hardware. El más empleado es el 2-FSK, esquemas superiores no se emplean.



-  D.M. Pozar, *Microwave and RF Design of Wireless Systems*, John Wiley & Sons, New York, 2001.
-  Martin Bossert, *Channel Coding for telecommunications*, Ed. Wiley, 1 ed. 1999.
-  R.L. Freeman, *Fundamentals of Telecommunications* John Wiley & Sons, New York, 1999.
-  R.L. Freeman, *Radio Systems Design for Telecommunications* Third Ed. IEEE and John Wiley & Sons, New York, 2007.

