



Editorial de la Universidad
Tecnológica Nacional

PROYECTO DE INVESTIGACION

***Efecto de la Foresta en las Transmisiones Electromagneticas
dentro de una WLAN (LAN inalámbrica)***

**Física de las Ondas Radioeléctricas dentro del
Estándar IEEE802.11b**

Frenzel, A.M.; Carrasco, A.; Monachesi, E.; Chaile, M.G.

**Facultad Regional Tucumán
Universidad Tecnológica Nacional
U.T.N. - Argentina**

2010

edUTecNe – Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional

<http://www.edutecne.utn.edu.ar>

edutecne@utn.edu.ar

La *velocidad de propagación*, *longitud de onda* y *frecuencia* de las ondas electromagnéticas están relacionadas por la siguiente expresión.

$$\text{Velocidad } (v) = \text{Frecuencia } (f) * \text{Longitud de Onda } (\lambda)$$

Donde:

- λ (m/seg): longitud de onda es la distancia medida desde un punto en una onda hasta la parte equivalente de la siguiente, por ejemplo desde la cima de un pico hasta el siguiente.
- f (Hz): frecuencia es el número de ondas enteras que pasan por un punto fijo en un segundo. Las ondas también tienen una propiedad denominada *amplitud*, esta es la distancia desde el centro de la onda hasta el extremo de uno de sus picos.

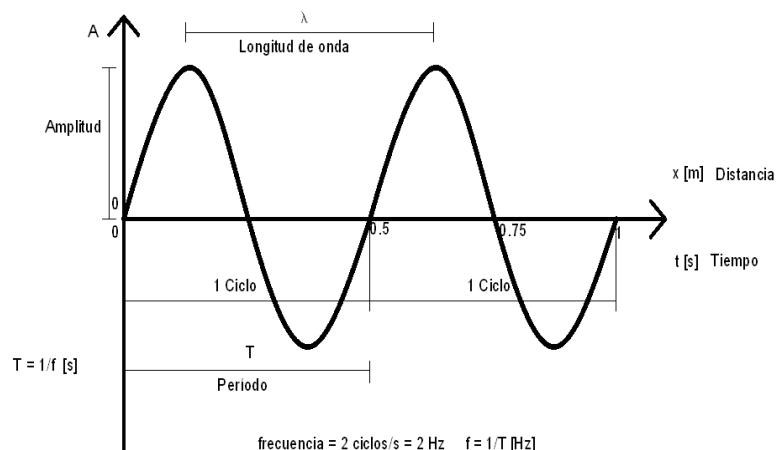


Figura 2: La relación entre frecuencia, longitud de onda y amplitud y periodo

En el caso de las ondas electromagnéticas que se propagan por el espacio, la velocidad v es la velocidad de propagación de la luz $c = 300.000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ quedando $c = f \cdot \lambda$, ahora la longitud de onda para una frecuencia de 2,4 GHz, que es la frecuencia para redes inalámbricas del protocolo 802.11b será:

$$\lambda = c / f = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s} / 2,4 \cdot 10^9 \text{ 1/s} = 0,125 \text{ m} = 12,5 \text{ cm}$$

La frecuencia y la longitud de onda determinan la mayor parte del comportamiento de una onda electromagnética, desde las antenas que construimos hasta los objetos que están en el camino de las redes que intentamos hacer funcionar, y son responsables por muchas de las diferencias entre los estándares que podamos escoger.

El Espectro Electromagnético

Se denomina *Espectro Electromagnético* al conjunto de ondas electromagnéticas que abarcan un amplio rango de frecuencias desde la luz visible, infrarroja, ultravioleta, rayos X, rayos gamma, *Radiofrecuencia* y *Microondas*.

El término *Radiofrecuencia* es utilizado para la porción del espectro electromagnético en la cual las ondas pueden ser transmitidas aplicando corriente alterna a una antena. Esto abarca el rango de 3 Hz a 300 GHz, pero normalmente el término se reserva para las frecuencias inferiores a 1 GHz.

Entre la radiofrecuencia y el infrarrojo encontramos la región de las *Microondas*, con frecuencias de 1 GHz a 300 GHz, y longitudes de onda de 30 cm a 1 mm. La banda de frecuencia de 2,40 GHz está dentro de las bandas que se mantienen abiertas para el uso general, o sea sin requerir licencia. Esta región es llamada *banda ISM* (*ISM Band: Industrial, Scientific and Medical Band*).

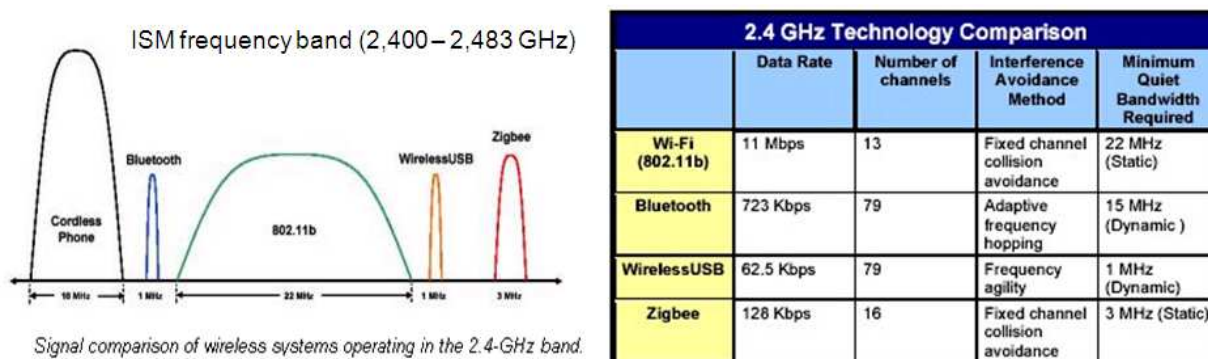


Figura 3: Distintos sistemas utilizando la banda ISM de 2,40 GHz

Las bandas ISM son de uso libre, pero las otras regiones del espectro electromagnético están altamente controladas por la legislación, mediante licencias. El pago de las licencias para el uso de un determinado rango de frecuencias es un factor económico muy significativo al momento de elegir las bandas de frecuencia de operación. Esto se da mucho en el caso de aquellas partes del espectro que son muy útiles para la difusión masiva (ejemplo: Radio, TV, Datos, etc.).

Frecuencias típicas	Designación de las bandas
Radiodifusión AM	535-1605 KHz
Radio onda corta	3-30 MHz
Radiodifusión FM	88-108 MHz
TV VHF (Canal 2-4)	54-72 MHz
TV VHF (Canal 5-6)	77-88 MHz
TV UHF (Canal 7-13)	174-216 MHz
TV UHF (Canal 14-83)	470-809 MHz
Telefonía móvil GSM, DECT	800, 900 y 1800, 1900 MHz
Hornos Microondas ISM	2,45 GHz
LDMS	26-28 GHz
Banda L	1-2 GHz
Banda S	2-4 GHz
Banda C	4-8 GHz
Banda X	8-12 GHz
Banda Ku	12-18 GHz
Banda K	18-26 GHz
Banda Ka	26-40 GHz
Banda U	40-60 GHz
Banda V	60-80 GHz
Banda W	60-100 GHz

Cuadro 1: Espectro de frecuencia utilizado por diferentes servicios y designación de las bandas

Los estándares de radio IEEE802.11b y IEEE802.11g utilizan las frecuencias que están entre 2.400 y 2.483 MHz, correspondientes a longitudes de onda de alrededor de 12,5 cm. Otro equipamiento disponible comúnmente utiliza el estándar IEEE802.11a, que opera entre 5.150 y 5.850 MHz (correspondiente a longitudes de onda de alrededor de 5 a 6 cm).

Para un rango de 2.400 MHz a 2.483 MHz, el ancho de banda será de 83 MHz, dicho ancho de banda está muy relacionado con la cantidad de datos que se podrían transmitir dentro de él, y a mayor ancho de banda, más datos se pueden transmitir.

Frecuencias y Canalizaciones

Existen dos tipos de tecnologías que emplean las radiofrecuencias para transmitir la información: la *banda estrecha* y la *banda ancha*, conocida esta última también como de espectro ensanchado (SS, Spread Spectrum).

La tecnología SS, utiliza todo el ancho de banda disponible, en lugar de utilizar una portadora para concentrar la energía a su alrededor. Tiene muchas características que la hacen sobresalir sobre

otras tecnologías de radiofrecuencias (como la de banda estrecha, que utiliza microondas), ya que, por ejemplo, posee excelentes propiedades en cuanto a inmunidad, interferencias y también a sus posibilidades de encriptación.

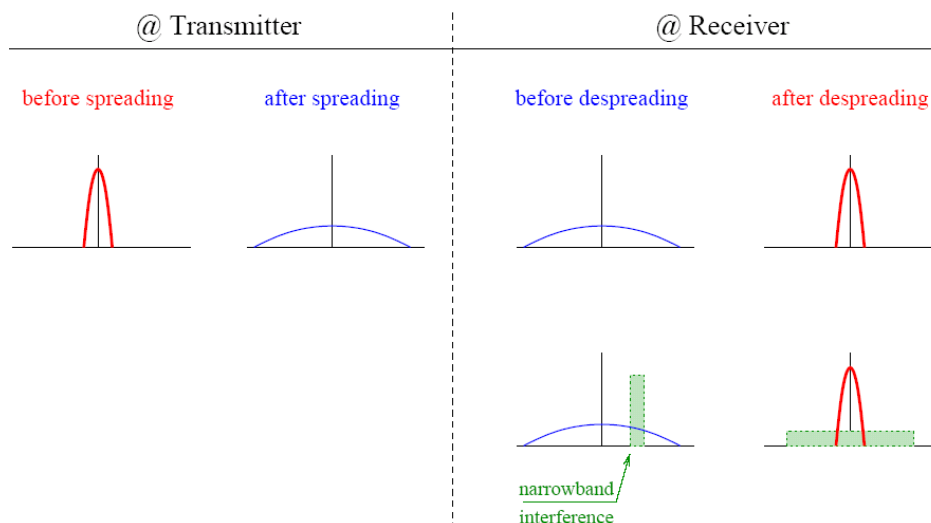


Figura 4: Proceso de transmisión y recepción utilizando la técnica de Espectro Ensanchado (SS)

El estándar IEEE802.11b utiliza la técnica SS y para el caso de la banda de 2,4 GHz, el espectro está dividido en partes iguales distribuidas sobre la banda en *canales individuales*. La cantidad de canales individuales y su ancho de banda dependen de la técnica usada en capa física del estándar a saber:

Espectro ensanchado por secuencia directa o DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum)

Se genera un patrón de bits redundante (señal de chip) para cada uno de los bits que componen la señal a transmitir. Cuanto mayor sea esta señal, mayor será la resistencia de la señal a las interferencias. El estándar IEEE 802.11 recomienda un tamaño de 11 bits, pero el óptimo es de 100 bits. La secuencia de bits utilizada para modular los bits se conoce como *secuencia de Barker* (también llamado código de dispersión o PseudoNoise). Es una secuencia rápida diseñada para que aparezca aproximadamente la *misma* cantidad de 1 que de 0.

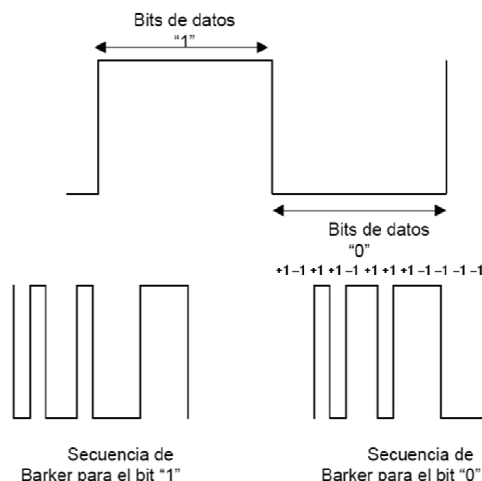


Figura 5: Secuencia de Barker

En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la información original. DSSS utiliza un rango de frecuencias que va desde los 2,4 GHz hasta los 2,4835 GHz, lo que permite tener un ancho de banda total de 83,5 MHz. Este ancho de banda se subdivide en 15 canales separados en 5 MHz. Cada país está autorizado a utilizar un subconjunto de estos canales.

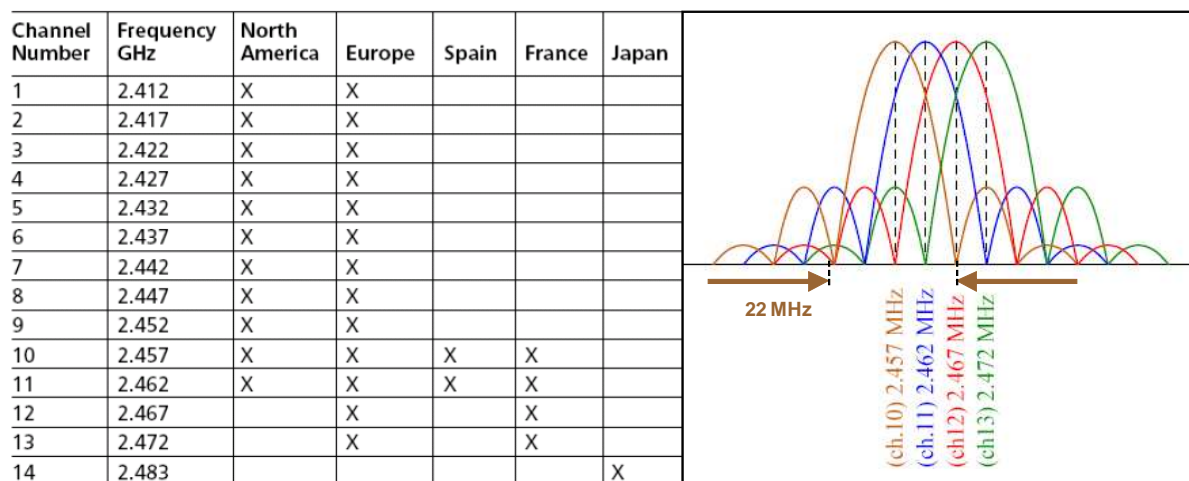


Figura 6a: Canalizaciones y técnica DSSS para IEEE802.11b.

Note que los canales son de un ancho de 22 MHz, pero están separados sólo por 5 MHz. Esto significa que los canales adyacentes se superponen, y por lo tanto pueden interferirse unos con otros si se utilizan todos en forma simultánea.

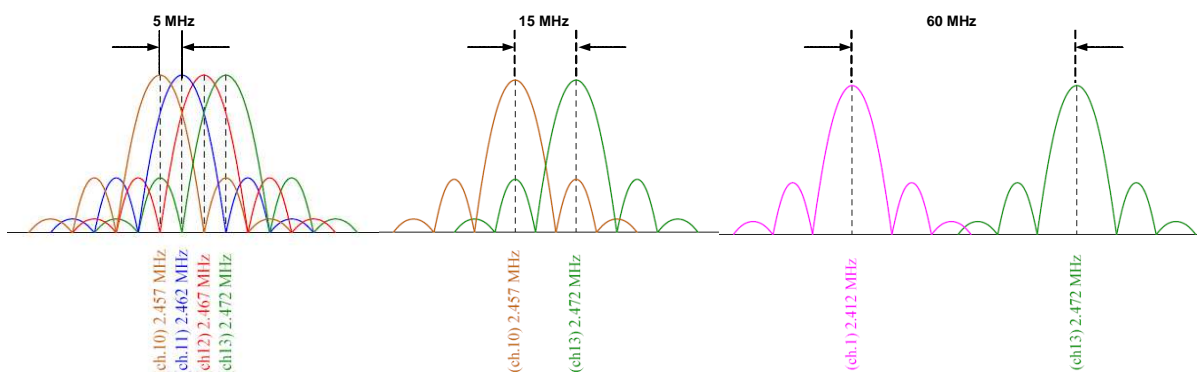


Figura 6b: Canalizaciones y técnica DSSS para 802.11b.

Espectro ensanchado por salto de frecuencias o FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS) consiste en transmitir una parte de la información en una determinada frecuencia durante un intervalo de tiempo llamada *dwell time* e inferior a 400 ms. Pasado este tiempo se cambia la frecuencia de emisión y se sigue transmitiendo a otra frecuencia. De esta manera cada tramo de información se va transmitiendo en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo. El orden en los saltos en frecuencia se determina según una secuencia pseudoaleatoria almacenada en unas tablas, y que tanto el emisor y el receptor deben conocer.

Para el rango de frecuencias de 2,4 GHz a 2,4835 GHz la técnica FHSS se organiza en 79 canales con un ancho de banda de 1MHz cada uno. El número de saltos por segundo es regulado por cada país, así por ejemplo, Estados Unidos fija una tasa mínima de saltos de 2,5 por segundos (400ms).

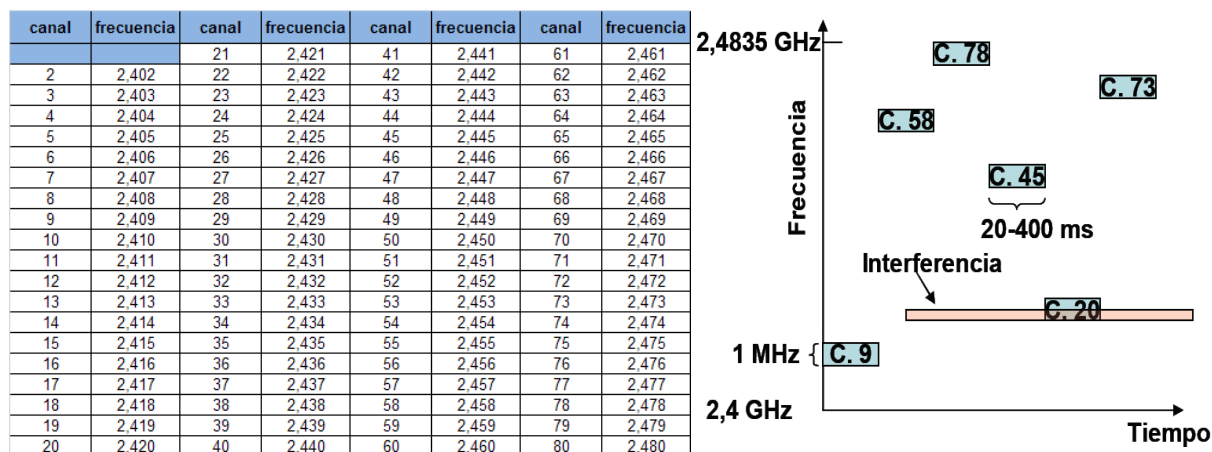


Figura 7: Canalizaciones y técnica FHSS para IEEE802.11b.

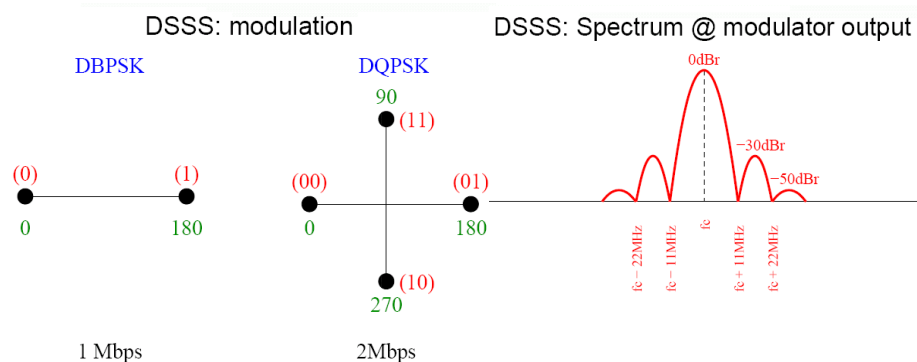
Modulación

El proceso de modulación es aquel que transforma una señal digital en una señal analógica para que pueda ser enviada a través del canal de comunicación hasta el receptor, que realizará el proceso inverso (demodulación).

Al igual que lo expresado anteriormente, la modulación empleada también depende de la técnica usada en capa física del estándar IEEE802.11b a saber:

Modulación DBPSK y DQPSK para DSSS.

Se ha definido dos tipos de modulación para la técnica DSSS, la modulación DBPSK (Differential Binary Phase Shift Keying) y la modulación DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying), que proporcionan una velocidad de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente. La extensión 802.11b introduce CCK (Complementary Code Keying) para llegar a velocidades de 5,5 y 11 Mbps (tasa física de bit). El estándar también admite el uso de PBCC (Packet Binary Convolutional Coding) como opcional.



Direct sequence spread spectrum IEEE 802.11 y IEEE 802.11 b				
Data rate	Chipping code length	Modulation	Symbol rate	Bits/symbol
1 Mbps	11 (Barker sequence)	DBPSK	1 Msps	1
2 Mbps	11 (Barker sequence)	DQPSK	1 Msps	2
5.5 Mbps	8 (CCK)	DQPSK	1.375 Msps	4
11 Mbps	8 (CCK)	DQPSK	1.375 Msps	8

Figura 8: Constelaciones DBPSK y DQPSK para DSSS y tabla comparativa.

Modulación 2GFSK y 4GFSK para FHSS.

La modulación GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) es una versión mejorada de la modulación por desplazamiento de frecuencia (FSK). En GFSK la información es pasada por un filtro gaussiano antes de modular la señal. Esto se traduce en un espectro de energía más estrecho de la señal modulada, lo cual permite mayores velocidades de transferencia sobre un mismo canal.

Ahora la modulación 2GFSK es un tipo de modulación donde un 1 lógico es representado mediante una desviación positiva (incremento) de la frecuencia de la onda portadora, y un 0 mediante una desviación negativa (decremento) de la misma proporcionando una velocidad de 1 Mbps. Para la modulación 4GFSK la misma se da en cuatro niveles, incrementando así la velocidad a 2 Mbps.

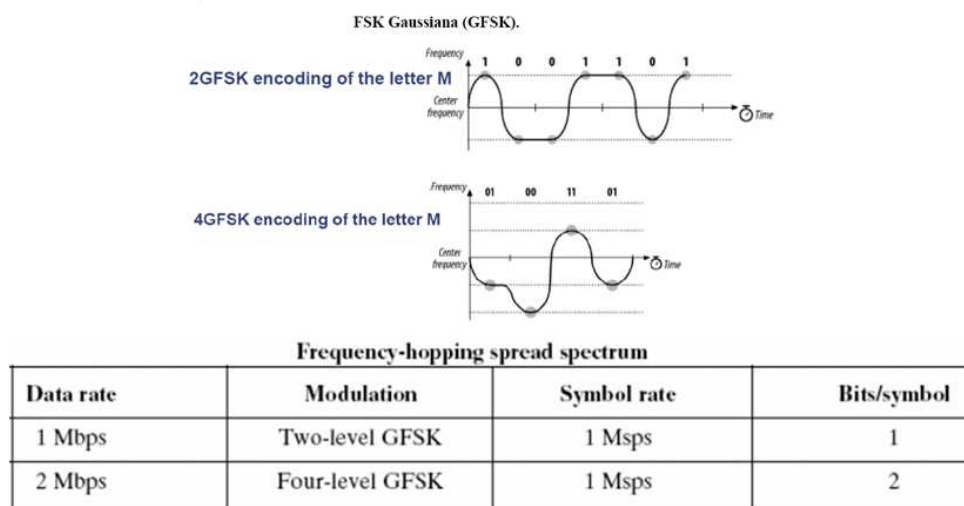


Figura 9: Modulaciones 2GFSK y 4GFSK para FHSS y tabla comparativa.

Propagación de las Ondas Electromagnéticas en IEEE802.11b.

A frecuencias bajas las ondas electromagnéticas son guiadas por la superficie terrestre y reflejadas por las capas ionosféricas. A frecuencias altas las ondas electromagnéticas se comportan como la luz, por lo que se requiere en la mayoría de los casos una línea visual entre el transmisor y el receptor.

Una onda electromagnética se propaga en línea recta *solamente en el vacío*, en cualquier otro medio puede cambiar su trayectoria debido a la presencia de obstáculos o de diferencias en la composición del medio que atraviesa.

Perdida en el Espacio Libre:

Cuando una onda se propaga en el espacio, se esparce sobre una superficie cada vez mayor a medida que se aleja del transmisor. La potencia que se puede capturar de la onda en el receptor, disminuye con el cuadrado de la distancia al transmisor, esto es por un efecto puramente geométrico. A esto se le denomina *Pérdida en el Espacio Libre*, FSL en inglés y su cálculo está dado por la expresión:

$$FSL (dB) = 20\log_{10} (d) + 20\log_{10} (f) + 32,40, \text{ donde: } d = \text{distancia en Km y } f = \text{frecuencia en MHz.}$$

A modo de ejemplo, para $f = 2,442 \text{ MHz}$, frecuencia del canal 7 para WLAN (canal central de la banda de 2,40GHz) la expresión anterior queda como:

$$FSL (dB) = 20\log_{10} (d) + 100,15, \text{ para } d = 0,1 \text{ Km (100 m)}$$

$$FSL (dB) = 80,15$$

O sea a la frecuencia central de la banda 2,4GHz y a una distancia de 100 m se tiene una pérdida de 80,15 dB en el espacio libre entre el Transmisor y el Receptor.

Las interacciones de las ondas electromagnéticas con varios objetos en el ambiente, así como la tierra, edificios, vegetación, farolas, personas, etc. están comúnmente asociados a otros mecanismos de la propagación. Estos mecanismos de propagación también causan atenuación de las ondas electromagnéticas pero debido a otros fenómenos como la *Absorción*, *Reflexión*, *Difracción*, *Refracción*, *Dispersión*, o a una combinación de aquellas.

Absorción:

Cuando las ondas electromagnéticas atraviesan algún material, generalmente se debilitan o atenúan. La cantidad de potencia perdida va a depender de su frecuencia y por supuesto, del material. La potencia decrece de manera exponencial y la energía absorbida generalmente se transforma en calor.

Material	Ejemplo	Interferencia
Madera	Tabiques	Baja
Vidrio	Ventanas	Baja
Amianto	Techos	Baja
Yeso	Paredes interiores	Baja
Ladrillo	Paredes interiores y exteriores	Media
Hojas	Arboles y plantas	Media
Agua	Lluvia / Niebla	Alta
Cerámica	Tejas	Alta
Papel	Rollos de papel	Alta
Vidrio con alto contenido en plomo	Ventanas	Alta
Metal	Vigas, armarios	Muy Alta

Cuadro 2: Absorción de materiales

En las redes inalámbricas, se considera al metal y el agua como absorbentes perfectos, o sea no van a ser atravesados (aunque capas finas de agua podrían permitir que una parte de la potencia pase). Cuando hablamos del agua, tenemos que recordar que la misma se encuentra en diferentes formas: lluvia, niebla, vapor y nubes bajas y todas van a estar en el camino de los radioenlaces.

Existen otros materiales que tienen un efecto más complejo en la absorción de la radiación electromagnética, por ejemplo, la absorción en los árboles y la madera, depende de cuánta cantidad de agua y de otros compuestos químicos contenga. Generalmente los plásticos y materiales similares, no absorben mucha energía de radio, pero esto varía dependiendo de la frecuencia y el tipo de material.

Otro factor a tener en cuenta son los seres humanos, pues estamos compuestos mayormente de agua. En lo que a redes inalámbricas se refiere, podemos ser descriptos como grandes bolsas llenas de agua, con la misma y fuerte absorción. Orientar un punto de acceso en una oficina de forma tal que su señal deba pasar a través de muchas personas puede ser un error clave cuando se proyectan redes inalámbricas en oficinas. Lo mismo sucede en clubes nocturnos, cafés, bibliotecas e instalaciones externas.

Reflexión:

La reflexión de las ondas electromagnéticas ocurre cuando una onda incidente choca con una barrera existente (un objeto) y parte de la potencia incidente no penetra el mismo. Las ondas que no penetran el objeto se reflejan. Debido a que todas las ondas reflejadas permanecen en el mismo medio que las ondas incidentes, sus velocidades son iguales y por lo tanto el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia.

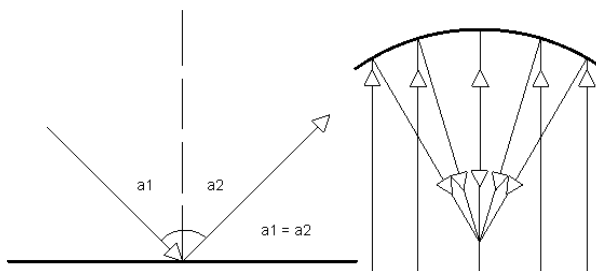


Figura 10: Reflexión de ondas de radio. El ángulo de incidencia es siempre igual al ángulo de reflexión. Una antena parabólica utiliza este efecto para concentrar las ondas de radio que caen sobre su superficie en una dirección común.

Este fenómeno depende de las propiedades de la señal y de las propiedades físicas del objeto. Las propiedades de la señal son el ángulo incidente de llegada al objeto, la orientación y la longitud de onda (λ). Las propiedades físicas del objeto en cambio son la geometría de la superficie, la textura y el material del que esté compuesto.

Una reja densa de metal actúa de igual forma que una superficie sólida, siempre que la distancia entre las barras sea pequeña en comparación con la longitud de onda λ . A modo de ejemplo, para la frecuencia de 2,4 GHz ($\lambda = 12,5$ cm), una rejilla metálica con separación de 1cm entre sus elementos va a actuar igual que una placa de metal sólida.

Difracción:

La difracción ocurre cuando la trayectoria de radio entre el transmisor y el receptor está obstruida por una superficie que tiene irregularidades agudas (*bordes*). Las ondas secundarias resultantes desde la superficie obstructora están presentes a través del espacio e incluso detrás del obstáculo, dando lugar a una *flexión* de ondas alrededor del obstáculo, al igual que cuando no existe una trayectoria de línea de visión entre el transmisor y el receptor. A alta frecuencia, la difracción como la reflexión depende de la geometría del objeto así como la amplitud, la fase, y la polarización de la onda incidente al punto de difracción.

En la difracción se genera una pérdida de potencia de transmisión, donde la potencia de la onda difractada es significativamente menor que el frente de onda que la provoca.

El Principio de Huygens provee un modelo para comprender este comportamiento, donde cada punto de un obstáculo genera un nuevo frente de ondas, y este nuevo frente puede hasta rodear un obstáculo. El fenómeno de la difracción si bien se da en todas las frecuencias, cuando más bajas es la frecuencia las ondas electromagnéticas se difractan más, dando la impresión de *doblar la esquina*. En contraposición cuanto más alta la frecuencia de la transmisión más alta será la pérdida.

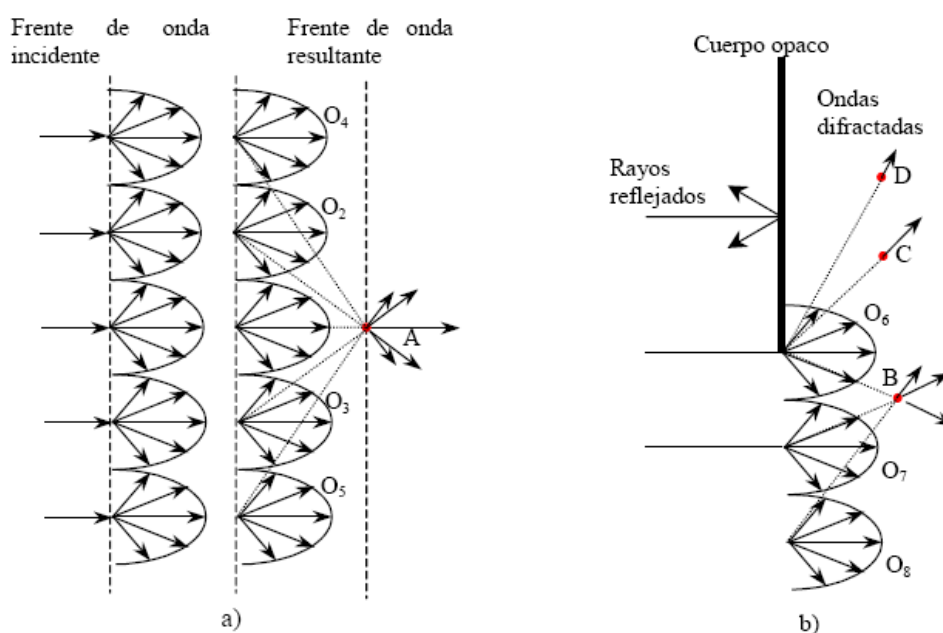


Figura 11: Principio de Huygens

Las microondas, con una longitud de onda de varios centímetros, muestran los efectos de la difracción cuando chocan contra paredes, y otros obstáculos. La obstrucción provoca que la onda cambie su dirección y doble en las esquinas.

En algunas aplicaciones muy específicas, se puede aprovechar el efecto de difracción para rodear obstáculos.



Figura 12: Un frente de onda difractado se forma cuando la señal transmitida incidente es obstruida por ángulos cortantes en la trayectoria

Dispersión:

La dispersión ocurre cuando el medio por el cual viaja la onda electromagnética está formado por objetos con dimensiones pequeñas comparadas a la longitud de onda λ , y donde hay un gran número de obstáculos por volumen de unidad. Las ondas dispersadas son producidas por las superficies ásperas, objetos pequeños, o por otras irregularidades en el canal.

La dispersión es un proceso de interacción general entre las ondas electromagnéticas y varios objetos. La dispersión provoca que parte de la energía sea irradiada en numerosas direcciones diferentes. Si hay muchos objetos en la trayectoria de la señal, y los objetos son relativamente pequeños comparados con la longitud de onda de la señal, entonces el frente de onda propagado se dividirá en muchas direcciones, añadiéndose a las interferencias constructivas y destructivas de la señal. Además, los materiales de construcción tales como una canalización eléctrica y cañerías de plomo pueden aumentar el efecto de dispersión. Para el caso de las redes Wi-Fi los objetos dentro de una oficina pueden provocar este fenómeno, en cambio las gotas de lluvia no, por tratarse de pequeñas dimensiones en comparación con $\lambda = 12,5$ cm.

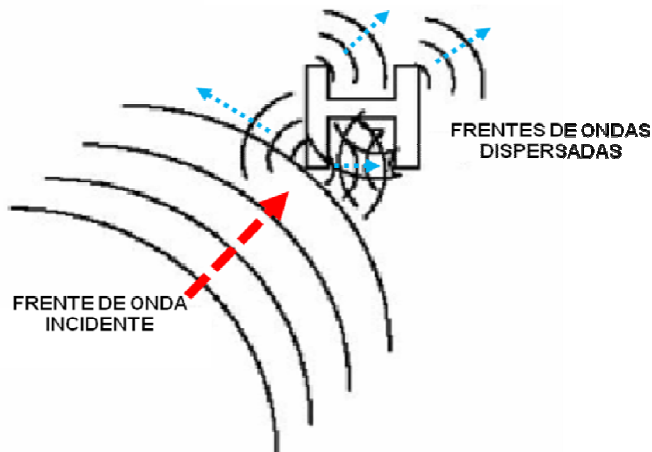


Figura13: Dispersión de una señal transmitida.

Refracción:

La refracción es el cambio de dirección de una onda electromagnética conforme pasa oblicuamente de un medio a otro, con diferentes velocidades de propagación. Por lo tanto, la refracción ocurre siempre que una onda electromagnética pasa de un medio a otro de diferente densidad. El ángulo de incidencia es el formado entre la onda incidente y la normal, y el ángulo de refracción es el formado entre la onda refractada y la normal.

En las redes Wi-Fi este fenómeno se da, pero no es muy significativo. Es más importante en WLAN de largo alcance.

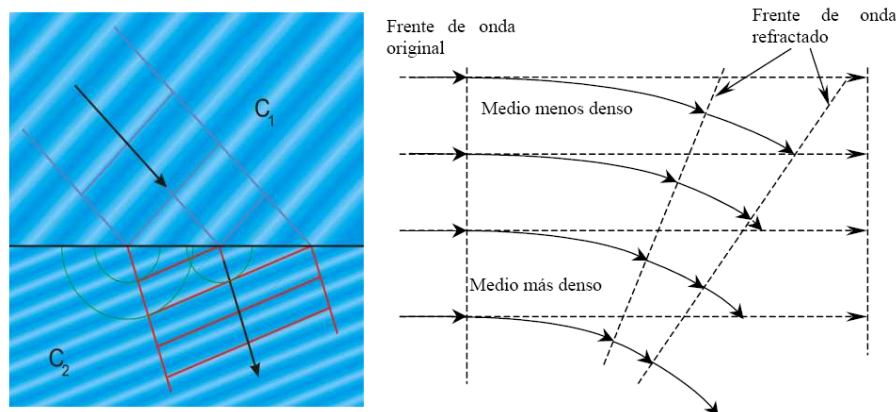


Figura 14: La refracción de las ondas electromagnéticas

Multitrayectoria (multipath):

A pesar de que los fenómenos anteriormente descritos puedan ser, en un principio, bastantes simples, las cosas pueden complicarse mucho cuando imaginamos el interior de una oficina con varios objetos. Esto explica el efecto de la *multitrayectoria (multipath)*, es decir el que las señales lleguen al receptor a través de diferentes caminos, y por consiguiente en tiempos diferentes, este fenómeno juega un papel muy importante en las redes inalámbricas por los retardos e interferencia que provocan en las comunicaciones inalámbricas.

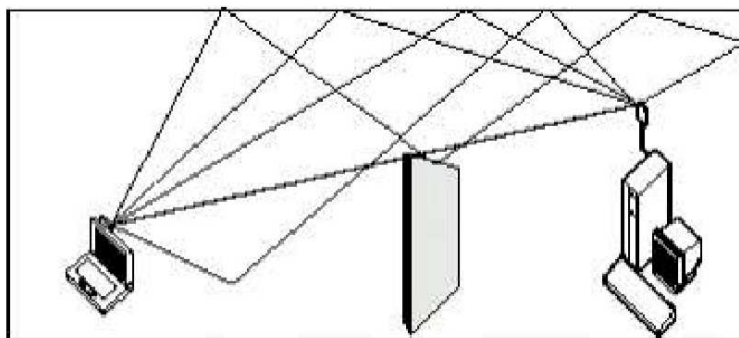


Figura 15: El fenómeno de la interferencia multitrayectoria

Por lo tanto, el *canal de radio* en interiores, está caracterizado por la recepción multitrayectoria (*multipath*), donde la señal ofrecida al receptor está compuesta no solamente de ondas de radio directas a la línea de visión entre el transmisor y el receptor (line of sight, LOS), sino también de una gran cantidad de ondas de radio reflejadas, dispersadas o difractadas por estructuras tales como paredes, suelos, objetos, etc.

Una red inalámbrica tiene que ser diseñada de tal manera que el efecto nocivo de estas reflexiones sea reducido al mínimo. La señal transmitida desde los AP alcanza los Terminales a través de una o más ondas principales, estas ondas principales consisten en un rayo de visión directa y numerosos rayos reflejados o dispersados.

Las trayectorias resultantes para cada una de las ondas principales llegan con muchos pequeños retardos, y tienen diferentes valores de fase debido a las diferentes longitudes de la trayectoria. El número de las trayectorias distinguidas en una medida hecha y en un punto dado del espacio dependen de la forma y la estructura del edificio. Los niveles reales de la señal reflejada también dependen de la geometría del entorno.

Algunas señales ayudarán a la trayectoria directa (interferencia constructiva), mientras que otras señales restarán del recorrido directo de la señal (interferencia destructiva).

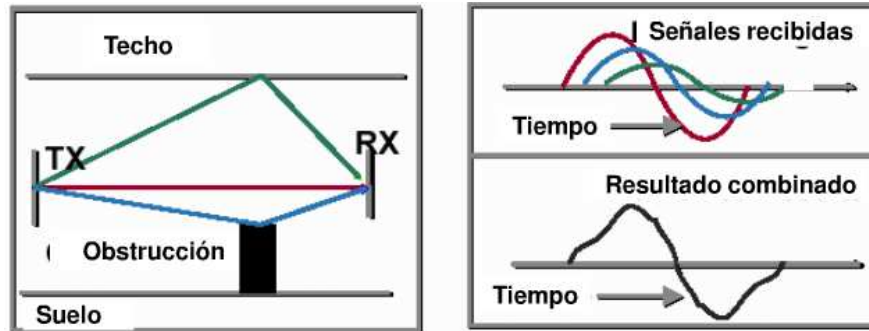


Figura 16: Interferencia por multitrayectoria

Existen dos clases de multitrayectoria: la multitrayectoria especular y la multitrayectoria difusa. Ambas formas de multitrayectoria son malas para las comunicaciones por radio.

La multitrayectoria difusa proporciona un tipo de nivel de ruido de fondo de interferencia, mientras que la multitrayectoria especular puede causar interrupciones en la señal o puntos muertos de radio dentro de un edificio (hasta de 40 dB en algunos casos). Este problema es especialmente difícil en callejones subterráneos, túneles y habitaciones pequeñas. El funcionamiento apropiado del acoplamiento de la comunicación por radio requiere que la multitrayectoria sea reducida al mínimo o eliminada.

En este contexto, la técnica FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) es prácticamente inmune a los efectos de la multitrayectoria, debido a su propia filosofía estructural, ya que al estar basado en el salto a diferentes frecuencias, la interferencia multipath queda automáticamente contrarrestado. Sin embargo, la técnica DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) puede solucionar este problema aumentando la capacidad de la antena (por ejemplo diversidad de antenas), lo que genera costes y complejidad añadidos.

Por último la multitrayectoria se relaciona con los modelos de propagación y la pérdida de camino mediante el empleo teorías estocásticas y funciones de distribución de probabilidad para poder estimar el comportamiento del *canal de radio*. Las variaciones de la señal en un edificio donde no hay trayectorias con línea de visión clara entre receptor y transmisor se pueden aproximar, por ejemplo, por la función de distribución Rayleigh.

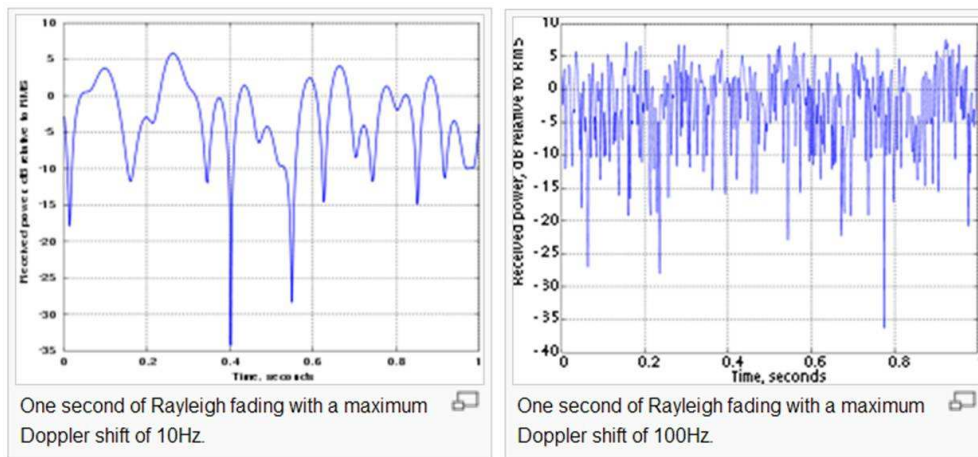


Figura17: Desvanecimiento en un canal Rayleigh

CONCLUSIONES

Entender físicamente cómo las ondas radioeléctricas se propagan e interactúan con el medio ambiente es un campo de estudio interesante y complejo en sí mismo. La implementación y construcción de redes de comunicación Wi-Fi confiables, la predicción y estimación del comportamiento de las ondas electromagnéticas a lo largo del camino de propagación, lo hace más interesante y complejo aún.

Estudiar, analizar y comprender las técnicas de transmisión y recepción utilizadas en las redes Wi-Fi (principalmente en su capa física), son pasos previos para poder contar con herramientas que evalúen los mecanismos usados para resolver los diversos problemas a la que son sometidas dichas redes inalámbricas.

El propósito de esta publicación fue dar ese marco técnico-investigativo preliminar, de manera de poder así, con bases más sólidas, recurrir a libros y publicaciones de ingeniería de telecomunicaciones más avanzadas, donde la física y las matemáticas son las herramientas básicas por defecto, en la modelización de estos procesos.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ <http://www.ieee802.org/11>
- ✓ <http://www.wi-fi.com>
- ✓ Introduction to Wave Propagation, Transmission Lines, and Antennas. Navy Electricity and Electronics Training Series. U.S. Navy. 1998.
- ✓ Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo (Wireless Networking in the Developing World: WNDW). <http://wndw.net/>
- ✓ Redes Inalámbricas (Wi-Fi) Aplicaciones y Proyectos Técnicos.-F Garcia, A Fernandez, J Alonso.
- ✓ A Technical Tutorial on the IEEE802.11 Protocol. P Brenner
- ✓ Redes inalámbricas: IEEE 802.11 – E Ponce, E Molina, V Maicas
- ✓ Fundamentals of Wireless LANs - MicroCisco – Staky
- ✓ Wireless LAN 802.11(b) - Francisco López Ortiz
- ✓ The IEEE 802.11 standard -Imad Aad. INRIA, Planete team