



UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA DE ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

**Análisis de la Implementación de un Enlace
Punto a Punto acotado por el Protocolo
802.11b**

Trabajo de Titulación para optar al
Título de Ingeniero Electrónico.

Profesor patrocinante:
Sr. Nestor Fierro Morineaud.
Ingeniero Electrónico

LUIS MAURICIO MUÑOZ GUZMÁN

VALDIVIA 2005

Profesor patrocinante:

Sr. Nestor Fierro Morineaud.
Ingeniero Electrónico

Profesores Informantes:

Sr. Franklin Castro Rojas
Ingeniero Electrónico

Sr. Raúl Urra Ríos
Ingeniero Civil Electrónico

AGRADECIMIENTOS

Quiero dedicar este espacio, para agradecer a quienes siempre me han apoyado incondicionalmente, a quienes creyeron en mí y en este esfuerzo, a quienes se esforzaron por mantenerme siempre adelante, por ello les dedico y agradezco a mis padres y familia, así como a todos aquellos que directa o indirectamente contribuyeron a la realización de este trabajo.

INDICE	Páginas
<u>AGRADECIMIENTOS</u>	III
<u>RESUMEN</u>	IX
<u>SUMMARY</u>	X
<u>OBJETIVOS</u>	XI
<u>INTRODUCCIÓN</u>	XII
CAPITULO I. TEORIA Y CONCEPTOS DE INTERES	
1.1 <u>Electromagnetismo</u>	2
1.2 <u>La onda</u>	3
1.3 Conceptos de propagación	5
1.3.1. Sistemas digitales	5
1.3.2 Ruido e interferencia	5
1.3.3 Pérdidas en el Espacio	6
1.3.4 Espacio libre	6
1.3.5 Atenuación	6
1.3.6 Reflexión	7
1.3.7 Refracción	8
1.3.8 Difracción	8
1.3.9 Absorción	8
1.3.10 Polarización	8
1.3.11 Desvanecimiento	9
1.4 Transmisión	9
1.5 Modulación	10
1.5.1 Modulación por amplitud (AM)	10
1.5.2 Modulación por Frecuencia	11
1.5.3 Modulación por Fase	12
1.6 Espectro electromagnético	13
1.7 Microondas	16
CAPITULO II. ESPECTRO ENSANCHADO	
2.1 Técnicas de ensanchado del espectro (Definición)	19

2.2	Origen histórico	19
2.3	Tecnología de espectro ensanchado por secuencia directa (DSSS)	21
2.3.1	Modelo de modulación en secuencia directa	24
2.3.1.1	El transmisor	25
2.3.1.2	El ensanchador	25
2.3.1.3	El modulador	27
2.3.1.4	El receptor	27
2.3.1.5	Propiedades	28
2.4	Tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia (FHSS)	30

CAPITULO III. INTRODUCCION AL PROTOCOLO 802.11b

3.1	Modelo de referencia OSI y modelo de referencia TCP/IP	34
3.2	Introducción a las WLAN	36
3.3	Protocolo 802.11b	38
3.3.1	Uso del espectro	38
3.3.2	Potencia en la transmisión	40
3.3.3	Modos de modulación DSSS	40
3.3.4	Modos de modulación CCK	41
3.3.5	Modo CCK a 5,5 Mbps.	42
3.3.6	Modo CCK a 11 Mbps.	43
3.3.7	Modulación DSSS/PBCC a 11/22 Mbps (opcional).	43
3.3.8	Uso de auto FALL-BACK	44
3.3.9	Secuencias HOP (de salto).	44
3.3.10	Parámetros PHY de 802.11b	45

CAPITULO IV. CAPA DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

4.1	La Capa MAC	47
4.1.1	Mecanismos de Acceso	47
4.1.1.1	Protocolos con arbitraje	48
4.1.1.2	Protocolos de acceso por contienda	48
4.1.2	Seguridad	52

4.1.3	Funcionalidad Adicional	53
4.1.4	Forma general de las tramas a nivel MAC	53
4.2	Productos Comerciales Existentes	55

CAPITULO V. ARQUITECTURA 802.11b

5.1	Arquitectura 802.11b	58
5.1.1	Access Points	58
5.1.2	Localizando una Wireless LAN	60
5.1.3	Service Set Identifier (SSID)	60
5.1.4	Beacons	61
5.1.4.1	Sincronización	61
5.1.4.2	Parámetros de FH o DS	61
5.1.4.3	Información del SSID	61
5.1.4.4	Mapa de Indicación de Tráfico TIM (Traffic Indication Map)	62
5.1.4.5	Tasas Soportadas	62
5.1.5	Conjunto de Servicios (Service Sets)	62
5.1.5.1	Basic Service Set (BSS)	62
5.1.5.2	Extended Service Set (ESS)	63
5.1.5.3	Independent Basic Service Set (IBSS)	64
5.1.6	Autenticación y Asociación	65
5.1.6.1	Autenticación	65
5.1.6.2	Asociación	65
5.1.6.3	Métodos de Autenticación	66
5.1.6.3.1	Autenticación de Sistema Abierto	66
5.1.6.3.1.1	Proceso de la Autenticación de Sistema Abierto	66
5.1.6.3.2	Autenticación de Clave Compartida	67
5.1.7	Notas	67

CAPITULO VI. INTRODUCCIÓN A TEORÍA DE ENLACE

6.1	Teoría de enlace	70
-----	------------------	----

6.2	Líneas de transmisión en 2.4 GHz	70
6.3	La línea de la visual	71
6.3.1	Distancia máxima de línea de vista	72
6.3.2	Consideraciones adicionales	72
6.4	Relaciones geométricas	73
6.5	Condiciones del terreno y meteorológicas	74
6.6	Distancia entre antenas	75
6.7	Pérdida de espacio libre en 2.4 GHz	75
6.8	Zona de Fresnel	75

CAPITULO VII. EQUIPAMIENTO

7.1	Antenas	79
7.1.1	Parámetros importantes de antena	79
7.1.2	Tipos de antenas	80
7.1.2.1	Antenas direccionales	80
7.1.2.1.1	Antena direccional con reflector parabólico circular	81
7.1.2.1.2	Antena direccional tipo Flat Patch	81
7.1.2.1.3	Antena direccional tipo Yagi	83
7.1.2.2	Antenas direccionales de ángulo amplio	84
7.1.2.3	Antenas omni-direccionales	86
7.2	Cables y conectores	87
7.2.1	Cable coaxial	87
7.2.1.1	Características del cable coaxial	89
7.2.1.1.1	Consideraciones	89
7.2.1.1.2	Velocidad de propagación	90
7.2.1.1.3	Propiedades constantes	91
7.2.1.1.4	Pérdidas de señal	91
7.2.1.1.5	Pérdidas del conductor	91
7.2.1.1.6	Pérdida por radiación	91
7.2.1.1.7	Pérdida por calentamiento del dieléctrico	92
7.2.1.1.8	Pérdida por acoplamiento	92

7.2.2	Longitud y calidad del pigtail	92
7.3	Conectores	93

CAPITULO VIII. EQUIPOS EN 802.11b

8.1	Hardware	98
8.2	Elegir entre tarjeta o AP	98
8.3	Potencia de transmisión en equipos.	99
8.3.1	Potencia necesaria	99
8.4	Sensibilidad de receptor	100
8.5	Proporción Señal a Ruido (Signal to Noise Ratio)	100

CAPITULO IX. PREDICCIÓN E IMPLEMENTACION DE ENLACE

9.1	Energía irradiada	103
9.2	Predicción de enlace (Link budget)	103
9.3	Margen de desvanecimiento	104
9.4	Confiabilidad del enlace	104
9.5	Montaje de un enlace wireless de larga distancia	104
9.5.1	Antes de montar el enlace	105
9.5.2	Resumen de Planteamiento de enlace	105
9.5.2.1	Objetivo	106
9.5.2.2	Factores condicionantes	108
9.5.2.3	Fórmula general	113
9.5.2.4	Materiales necesarios	116
9.5.2.5	Montaje	117
	CONCLUSIONES	119
	BIBLIOGRAFIA	120

ANEXOS

A	Decibeles	122
B	Construcción antena guía de ondas	134

RESUMEN

Este trabajo se estructura en una serie de diez capítulos, los cuales van describiendo, la tecnología como la técnica práctica involucrada en la implementación de un enlace inalámbrico punto a punto basado en la norma IEEE 802.11b.

El primer capítulo, cuyo propósito es promover un mejor entendimiento de la información desplegada en este trabajo, muestra conceptos de interés en el área de electromagnetismo y propagación.

Luego se describen cada uno de los componentes que estructuran la tecnología en la que se basa la norma IEEE 802.11b, así como su definición de protocolo, técnicas de modulación y arquitectura de red, además de su uso y limitaciones en las WLAN.

Para acercarnos aún más a un análisis de enlaces inalámbricos de larga distancia en 2.4 GHz, los capítulos VI, VII y VIII describen conceptos importantes relativos a enlaces y restricciones físicas que signifiquen una atenuación importante en su propagación, además de la descripción del equipamiento normalmente usado en la implementación de WLANs en el exterior, entregando criterios apropiados para su elección.

En tanto en el penúltimo capítulo se presentan conceptos y consideraciones importantes, tendientes al análisis previo de la implementación y posterior realización de este tipo de enlaces, complementando ésta entrega con información del tipo teórica así como de la práctica.

Finalmente, se presentan los anexos complementarios, los cuales incluyen información respecto de la unidad de medida de la ganancia en antenas y trancptores como es el decibelio, además de una guía con los pasos principales para la construcción de una antena guía de ondas, lo cual ayudaría al alumno o aficionado a experimentar de una forma económica, su propio enlace inalámbrico.

SUMMARY

This work is structured in a series of ten chapters, which go describing, the technology like the practical technique involved in the implementation from a connection wireless point to point based on the norm IEEE 802.11b.

The first chapter whose purpose is to promote a better understanding of the information deployed in this work, shows concepts of interest in the area of electromagnetism and propagation.

Then they are described each one of the components that structure the technology in the one that the norm IEEE 802.11b is based, as well as its protocol definition, technical of modulation and net architecture, besides its use and limitations in the WLAN.

To come closer even more to an analysis of wireless connections of long distance in 2.4 GHz, the chapters VI, VII and VIII describe relative important concepts to connections and physical restrictions that mean an important attenuation in their propagation, besides the description of the equipment usually used in the implementation of WLANs in the exterior, giving appropriate approaches for their election.

As long as in the penultimate chapter concepts and important considerations are presented, tendientes to the previous analysis of the implementation and later realization of this type of connections, supplementing this delivery with information of the theoretical type as well as of the practice.

Finally, the complementary annexes are presented, which include information regarding the unit of measure of the gain in antennas and transceiver like it is the decibel, besides a guide with the main steps for the construction of an antenna guide of waves, that which would help the student or fond to experience in an economic way, their own wireless connection

OBJETIVO GENERAL

- Describir y analizar la implementación de un enlace inalámbrico punto a punto acotado por el protocolo de comunicación IEEE 802.11b

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Elaborar la documentación necesaria que sirva a las comunicaciones inalámbricas acotadas por el protocolo IEEE 802.11b.
- Describir la técnica de ensanchado del espectro (DSSS).
- Describir el protocolo de comunicación IEEE 802.11b
- Describir los principales factores determinantes del desempeño de un enlace inalámbrico acotado por el protocolo IEEE 802.11b
- Analizar y describir los procedimientos técnicos utilizados en la implementación de un enlaces inalámbrico punto a punto, acotado por el protocolo IEEE 802.11b.

RESTRICCIONES

Por lo extenso del tema habrá partes en la que sólo se presentará información en su forma más general. Quedará así expuesta la información que a criterio del investigador considérese importante según los objetivos planteados.

METODO DE TRABAJO

El método de trabajo a emplear consistirá en alcanzar lo básico del tema en cuestión, para luego realizar su estudio y correspondiente acotación. Además de alcances teórico práctico, cuya intención es estrechar la distancia que existe entre la teoría y la práctica.

Este trabajo de titulación contendrá los aspectos mas relevantes e importantes de la tecnología que implica el protocolo de comunicación IEEE 802.11b, para así ser eficaz en el aporte a la comunidad de estudiantes y aficionados a las Telecomunicaciones.

INTRODUCCION

Hace algunos años que las telecomunicaciones están experimentando uno de los mayores cambios de su historia; la creciente migración de servicios fijos hacia los servicios inalámbricos móviles.

Actualmente el fenómeno también ha alcanzado a nuestro país, el cual ya dispone de normativa para el uso de esta tecnología.

Las redes WLAN (*Wireless Local Area Network*, redes inalámbricas de área local) han alcanzado un enorme crecimiento en años recientes. Entre varias tecnologías de redes inalámbricas, la tecnología basada en el protocolo IEEE 802.11b puede ser citada como la más prominente hoy. Más aún, estas redes ya no son vistas como sólo una WLAN sino que gracias a sus características de eficiencia y bajos costos de implementación se ofrecen como una excelente alternativa de conectividad mediante enlaces del tipo punto a punto.

CAPITULO I
TEORIA Y CONCEPTOS DE INTERES

CAPITULO I: TEORIA

1.1 Electromagnetismo

En principio, para hacer posible el transportar información o datos de forma inalámbrica, estableciendo de esta manera un enlace inalámbrico, se necesita, algo o alguien quien se encargue de llevar dicha información por dicho medio, con esto me refiero a la onda electromagnética.

Una onda electromagnética es una combinación de campos eléctricos y magnéticos, que se dispersan por un espacio tridimensional oscilando, perpendiculares entre sí, y perpendiculares a la dirección de propagación transportando así, energía de un lugar a otro.

A diferencia de otros tipos de onda, como el sonido, que necesitan un medio material para propagarse, la onda electromagnética se puede propagar en el vacío.

La ecuación de onda en el espacio libre en el dominio del tiempo es

$$\nabla^2 H = \frac{1}{C^2} \frac{D^2 H}{Dt^2}$$

Ecuación N° 1

En tanto que el esquema general de una onda electromagnética esta representada en la *figura N° 1*, y el esquema general de transmisión en la *figura N° 2*.

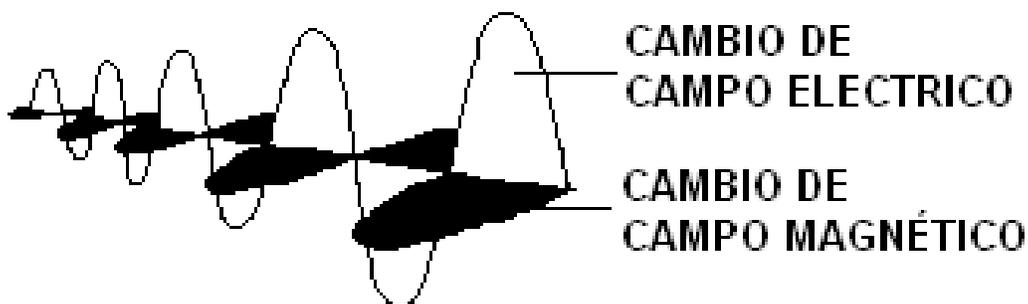


Figura N° 1. Esquema de Onda electromagnética

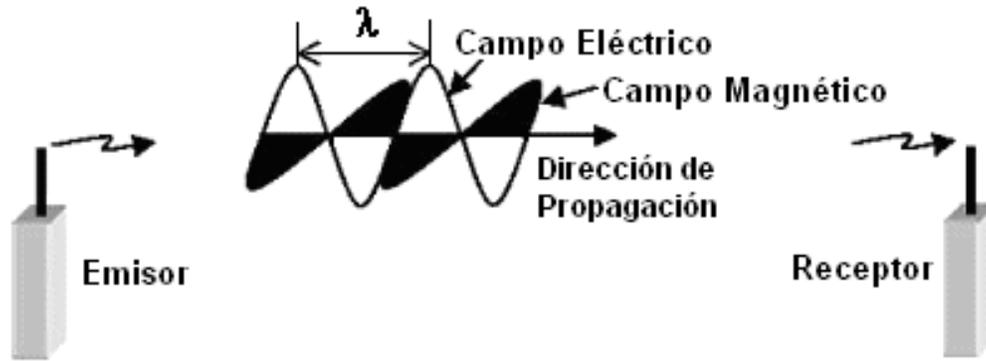


Figura N° 2. Esquema simplificado de transmisión

Para comprender, a continuación un desglose de los conceptos mencionados

1.2 La Onda:

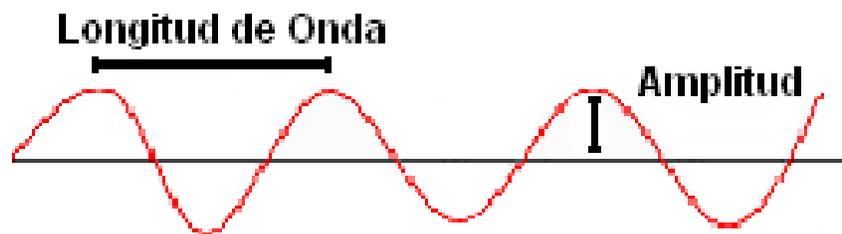


Figura N° 3. Esquema de onda

En la *figura N°3*, la distancia entre dos crestas o valles se denomina **longitud de onda** (λ). La **frecuencia** de la onda está determinada por las veces que ella corta la línea de base en la unidad de tiempo (casi siempre medida en segundos), esta frecuencia es tan importante que las propiedades de la radiación dependen de ella y esta dada en Hertz. La **amplitud de onda** está definida por la distancia que separa el pico de la cresta o valle de la línea de base.

La energía que transporta la onda es proporcional al cuadrado de la amplitud. La unidad de medida para expresar semejantes distancias tan pequeñas es el nanómetro (10^{-9} metros).

Los campos eléctricos y magnéticos de una radiación varían sinusoidalmente a una frecuencia f (Hz).

La velocidad a la que se desplazan las radiaciones electromagnéticas depende de las constantes físicas: permitividad ϵ (F/m) y permeabilidad μ (H/m) del medio. En el aire se cumple:

$$\epsilon_0 = \text{permitividad absoluta del aire} = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ farad/m}$$

$$\mu_0 = \text{permeabilidad absoluta del aire} = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ [H/m]} = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{ Henry/m}$$

Con lo que se cumple que la velocidad de la luz esta dado por :

$$V = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} = C \approx 3 \times 10^8 \text{ m/s} = \text{velocidad de la luz}$$

Ecuación N° 2

Dependiendo del fenómeno estudiado, la radiación electromagnética se puede considerar en lugar de como una serie ondas, como un chorro de partículas, llamadas fotones. Esta dualidad onda-partícula hace que cada fotón tenga una energía proporcional a la frecuencia de la onda asociada, dada por la relación de Planck: $E = h \cdot f$, donde E es la energía del fotón, h es la Constante de Planck y f es la frecuencia de la onda.

$$C = \lambda \cdot f$$

Ecuación N° 3

Así mismo, considerando la radiación electromagnética como onda, la longitud de onda y la frecuencia de oscilación están relacionadas por una constante, la velocidad de la luz en el medio (c en el vacío):

A mayor longitud de onda menor frecuencia (y menor energía según la relación de Planck).

1.3 Conceptos de propagación

1.3.1. Sistemas digitales

En un sistema de telecomunicaciones digitales existen tres etapas básicas. La primera corresponde a la conversión análoga a digital (A/D); reducción de la forma de onda análoga original compleja en una forma de onda digital fácilmente manipulable, sin perder la habilidad de recuperar su riqueza y sus matices. La segunda es llamada usualmente la modulación; conversión de la señal digital lógica a una forma transmisible, pulsos de corriente eléctrica, ondas de luz en los sistemas de fibra óptica u ondas de radio. La tercera es la transmisión y el tratamiento de la señal; manipulación de la señal para su recuperación, multiplexación, retransmisión, entre otros.

1.3.2 Ruido e interferencia.

La transmisión de la señal de radio es afectada por el ruido y la interferencia; el ruido es considerado como el resultado de los procesos aleatorios que producen energía de radiofrecuencia, como por ejemplo, el encendido de un auto, el ruido térmico de un receptor, entre otros. La relación entre el nivel de la señal y el nivel de ruido es la Relación Señal a ruido, o RSR (Signal Noise Ratio, SNR) o la relación entre la portadora y el ruido. Por su lado la interferencia es una forma de degradación de la señal producida por otras emisiones de radio. Existen dos tipos de interferencia: la del canal adyacente que ocurre cuando la energía de una portadora esta presente en un canal adyacente, y la de los canales adyacentes la cual ocurre cuando dos transmisores en la misma frecuencia de portadora llegan a un receptor.

El interés de la radio digital es la reducción y simplificación de todas las fuentes de degradación de las características de la señal de radio digital, dicho de otra forma, la disminución de la ocurrencia de errores durante la transmisión de señales digitales, lo cual es definido como el Rango de Error de los Bits (Bits error Range, BER).

1.3.3 Pérdidas en el Espacio

Otro concepto básico de la propagación de la onda de radio es la *predicción (budget)* de las pérdidas del enlace de radio, el cual determina la calidad de la transmisión. Una predicción será diseñada para asegurar que una señal de nivel suficiente sobrevivirá al proceso de transmisión y alcanzará un SNR o un BER requerido y aceptable para la operación del sistema. La predicción del sistema es medida en términos de decibeles (dB).

A lo largo de su trayectoria, la señal estará expuesta a una serie de obstáculos que pueden impedir que alcance su receptor probable, una falla del enlace de radio durante algunos milisegundos puede producir una degradación notable del canal de comunicaciones.

1.3.4 Espacio libre.

En el caso más simple – transmisor omnidireccional – la potencia recibida de la señal disminuye cuando el receptor se aleja del transmisor. En el vacío, “espacio libre”, la intensidad de la señal disminuirá en forma inversa y proporcional al cuadrado de la distancia. En otras palabras, si la señal recibida de un transmisor es de 1 Watt, esta misma señal será de un cuarto de Watt a 2 kilómetros. En la práctica, debido a que las telecomunicaciones sin cables (wireless, término en inglés cuyo significado es “sin cables”) no se realizan en el espacio libre, las pérdidas de la trayectoria serán más severas de lo que prevé este teorema. Este tipo de sistema puede ser modelado de forma más precisa por medio del inverso cúbico de la distancia y hasta de una potencia mas elevada. El establecimiento de este teorema refleja los efectos del terreno, la atmósfera y otros elementos del mundo real. Estas pérdidas son altamente dependientes de la frecuencia. Hay que notar que el análisis de las ondas de radio es todavía un campo empírico, especialmente en el campo de las nuevas aplicaciones, los servicios móviles, wireless y las nuevas frecuencias elevadas.

1.3.5 Atenuación.

Es importante decir que al propagarse la onda electromagnética, en su camino esta puede pasar por medios de distinta densidad, produciéndose distintos fenómenos tales

como son la reflexión, refracción, difracción y la absorción, todos fenómenos tendientes, según sea el caso, a la atenuación de la energía de la OEM. Debido a los efectos de la atenuación, las ondas de radio pueden ser parcial o totalmente bloqueadas cuando su energía es absorbida o bloqueada por obstáculos físicos del medio ambiente. El elemento de absorción puede ser la lluvia, el follaje de los árboles, una montaña entre otros. La causa específica de la severidad de la atenuación depende principalmente de la frecuencia, por ejemplo las ondas electromagnéticas de 1 GHz no son generalmente afectadas por la lluvia, por el contrario, las ondas de frecuencia superiores a los 10 GHz son normalmente afectadas. Entre más elevada sea la frecuencia mayor será la atenuación, por esta razón, para obtener el mismo nivel de calidad de la señal recibida, será necesaria una potencia de transmisión más elevada a frecuencias más elevadas; por ejemplo la FCC permite una potencia máxima de transmisión de 100 Kw para las radiodifusoras de señales de televisión en la parte baja de la banda de 50 a 90 MHz, en el caso de la banda de 500 – 800 MHz la misma potencia de transmisión permitida es de 5.000 Kw. Históricamente, el desarrollo de la tecnología de radio se ha iniciado desde las frecuencias bajas hacia las frecuencias elevadas, debido a que la mayoría de las aplicaciones actuales requieren más ancho de banda. Otros efectos importantes de la atenuación de las ondas de radio, sobre todo en las zonas urbanas, son las múltiples reflexiones y la atenuación debido al follaje de los árboles, lo que lleva a la creación del efecto fantasma.

1.3.6 Reflexión.

Cuando una onda choca contra una superficie y es devuelta normalmente, en parte se produce una reflexión; en el caso de que esta superficie sea buena conductora, reflejará casi toda la energía que llegue a ella, disminuyendo su poder reflectante a medida que sea más aislante; es decir, proporcional a su conductividad.

El hecho de que la velocidad de propagación de una onda dependa de las propiedades del medio da lugar a los fenómenos de reflexión y refracción, que ocurren cuando una onda atraviesa la superficie de separación de dos medios diferentes. La onda reflejada es una nueva onda que se propaga en el medio en el cual la onda original se estaba propagando. La onda refractada es la que se transmite al segundo medio.

1.3.7 Refracción.

Es el fenómeno que desvía la dirección de propagación de las ondas de radio cuando éstas pasan de un medio a otro medio en el cual la velocidad de propagación es diferente; en la atmósfera se da esta circunstancia por varias causas, como pueden ser: temperatura, humedad, etc., que producen una diferente conductividad en distintas capas.

1.3.8 Difracción.

Sabemos que las ondas de radio tienen en muchos casos propiedades semejantes a las lumínicas. Todo rayo luminoso que encuentre un obstáculo en su trayectoria produce sombra y penumbra; esto es la difracción, una onda de radio que encuentre un obstáculo deja al otro lado de él una zona de sombra o un área en la cual no llega esta onda y una parte entre la sombra y la zona iluminada en donde la intensidad de campo es muy pequeña en comparación con el área de rayo directo.

1.3.9 Absorción.

Las ondas de radio pierden parte de su energía en sus recorridos, comúnmente llamada absorción, ya que al excitar a los electrones, parte de la energía se pierde o disipa en forma de calor y solo una parte es irradiada; esta absorción es mayor cuanto mayor es la densidad de partículas no ionizadas en la atmósfera.

1.3.10 Polarización.

Otra característica de las ondas electromagnéticas es su polarización, que está determinada por las líneas de fuerza del campo eléctrico. Se dice que una onda está polarizada verticalmente cuando estas líneas tienen dirección vertical, y cuando son perpendiculares a ella tiene polarización horizontal; en variados casos y particularmente con las ondas de VHF, UHF y SHF sucede que la polarización no sigue siempre el mismo

plano, pudiendo variar su sentido cuando a lo largo de su desplazamiento se producen reflexiones intencionadas o casuales.

1.3.11 Desvanecimiento.

Como decía anteriormente, una onda de radio puede ser reflejada por cualquier objeto en la atmósfera; una montaña, un edificio, un aeroplano, entre otros. Estas reflexiones producirán necesariamente diferentes trayectorias, creando así uno de los mayores problemas en la transmisión de radiofrecuencia. La dispersión por retardo (propagación de la señal por diferentes trayectorias), producirá que la señal viaje por múltiples trayectorias la cuales llegarán con una diferencia en el tiempo, produciendo una deformación por retardo. En la práctica este retraso provocará una dispersión de las señales produciendo una interferencia de símbolos (ISI), en el caso de los bits (digitales). Otro efecto importante es el desvanecimiento de Raleygh; dado que la fase de las múltiples trayectorias será modificada por las reflexiones, en el caso de una señal directa y una señal reflejada con una diferencia de fase de 180° producirá la cancelación de la señal a la entrada del receptor. El tercer efecto importante, presente sólo en las aplicaciones móviles, es el desfasamiento Doppler (el movimiento de un receptor con respecto a un transmisor producirá un desfasamiento Doppler, conocido como el efecto Doppler); Cuando un transmisor móvil envía una señal con cierta frecuencia a un receptor inmóvil, el receptor observará una señal de frecuencia ligeramente superior a la transmitida, en el caso contrario será una frecuencia ligeramente inferior.

1.4 Transmisión.

Cuando un alambre o cualquier objeto conductor, tal como una antena, conduce corriente alterna, se producirá un campo eléctrico variable en la región vecina a la antena, lo que inducirá un campo magnético también variable, generando así flujo radiante de ondas electromagnética las que se propagaran en la misma frecuencia (velocidad de oscilación) que la corriente incidente.

De forma similar, cuando una radiación electromagnética incide en un conductor eléctrico, hace que los electrones de su superficie oscilen, generándose de esta forma una corriente alterna en dicho conductor eléctrico, cuya frecuencia es la misma que la de la radiación incidente. Este efecto se usa en las antenas, que pueden actuar como emisores o receptores de radiación electromagnética. Este es el principio de comunicación por radio.

1.5 Modulación.

Para que la información que se desea enviar pueda ser transmitida, esta debe imprimirse en la señal u onda que hará las veces de onda transportadora, también llamada señal portadora. Para tal efecto se realiza el proceso denominado modulación de la onda portadora. Existen varios tipos de modulación de los cuales resaltare los más importantes, estos son:

1.5.1 Modulación por amplitud (AM).

Proceso de cambiar la amplitud de una onda portadora de frecuencia relativamente alta de acuerdo con la amplitud de la señal modulante (información). Con la modulación de amplitud, la información se imprime sobre la portadora en la forma de cambios de amplitud.

La modulación de amplitud es una forma de modulación relativamente barata y de baja calidad de modulación que se utiliza en la radiodifusión de señales de audio y video.

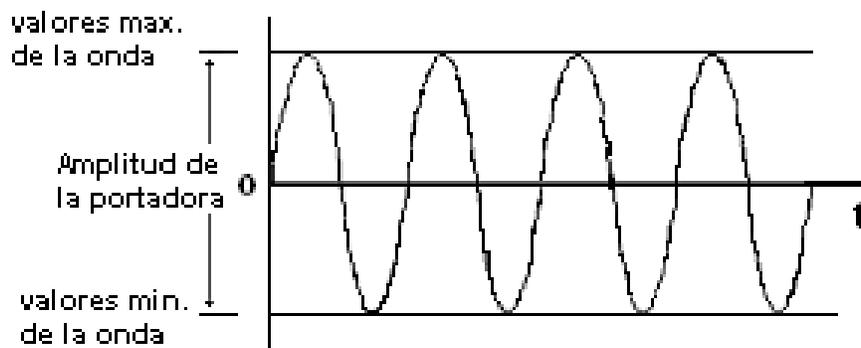


Figura N° 4. Representación de la onda portadora

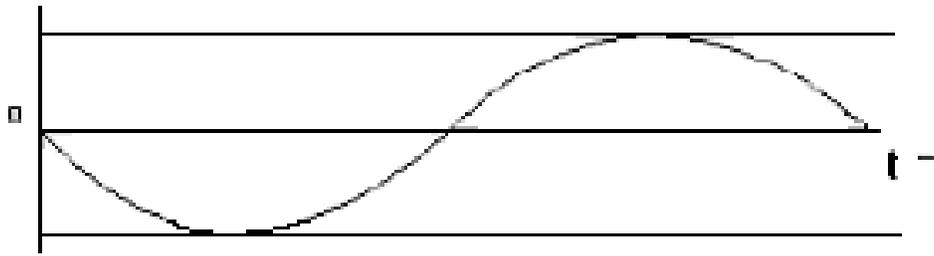


Figura N° 5. Representación de la onda moduladora

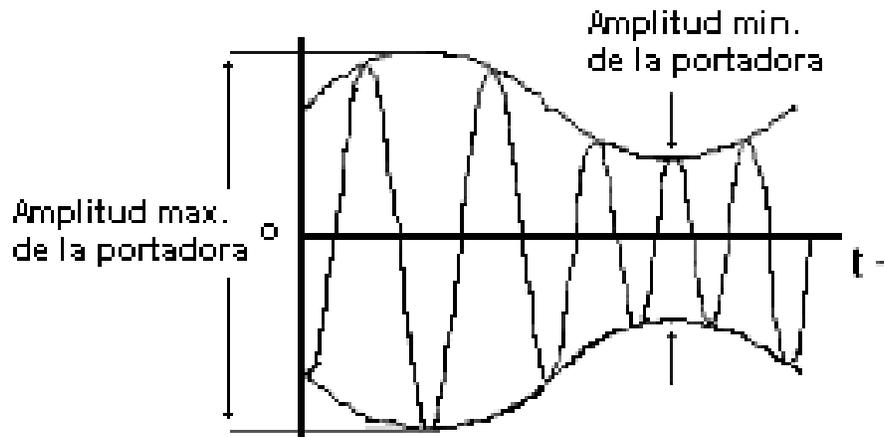


Figura N° 6. Onda modulada en amplitud

1.5.2 Modulación por Frecuencia.

Este sistema de modulación consiste en que la onda portadora se modula de forma que su frecuencia varíe según la señal que se quiere transmitir. A continuación en la *figura N°7* un esquema de tal situación:

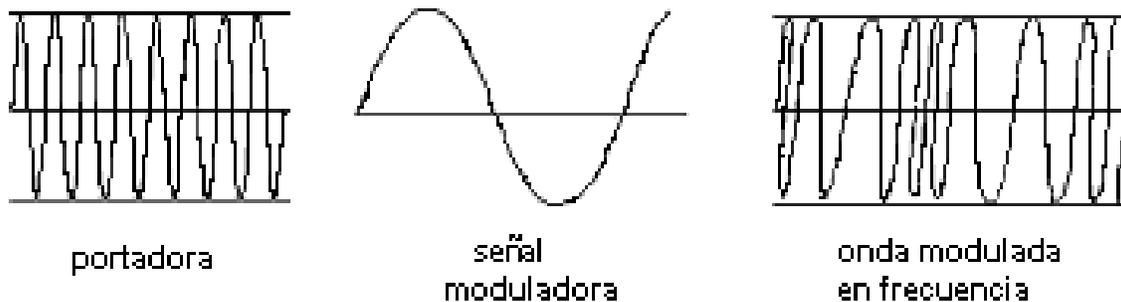


Figura N° 7. Ilustración de modulación de frecuencia

La frecuencia modulada posee varias ventajas sobre el sistema de modulación de amplitud (AM) utilizado alternativamente en radiodifusión. La más importante es que al sistema FM apenas le afectan las interferencias y descargas estáticas. Algunas perturbaciones eléctricas, como las originadas por tormentas o sistemas de encendido de los automóviles, producen señales de radio de amplitud modulada que se captan como ruido en los receptores AM.

1.5.3 Modulación por Fase.

Sistema de modulación en el cual la fase de la señal portadora varía o es modulada conforme al valor instantáneo de la amplitud de la señal moduladora.

Basada en variaciones instantáneas de la fase de la portadora en relación a un ángulo de fase de referencia.

Una onda senoidal normal empieza con una amplitud nula y un ángulo de fase nulo, aumenta hasta una amplitud positiva de pico a 90 grados, disminuye a cero a los 180 grados y pasa por un mínimo negativo a los 270 grados antes de volver a pasar por cero a los 360 grados. Un nivel lógico "1" puede representarse como una señal que tiene un determinado ángulo de fase, y un nivel lógico "0", con una portadora de la misma frecuencia y amplitud pero con una fase desplazada 180 grados. Para detectar la fase de la portadora puede emplearse un circuito detector de fase y, por tanto, puede determinar si existe un nivel lógico "1" o un nivel lógico "0". Esta técnica se denomina PSK (phase-Shift Keying = Variación de fase mediante una señal digital).

En una Onda Electromagnética esto se logra variando el ángulo que lleva la componente electromagnética de la señal, por lo general la variación de fase se usa para informaciones del tipo discreto, pues estos sistemas son más ideales que los anteriormente mostrados, por lo general se usan los ángulos de 0° a 360°. En las WLAN se usan tecnologías derivadas de la fase binaria (0 y 1), pero en la cuadratura que es un poco más compleja se usan los ángulos de 45°, 135°, 225° y 315° pues divide los 360° en 4 cuadrantes, en la *figura N° 8* se aprecia el cambio de 45° a 135° en un sistema de 4 divisiones, pero existen sistemas de más de 128 divisiones.

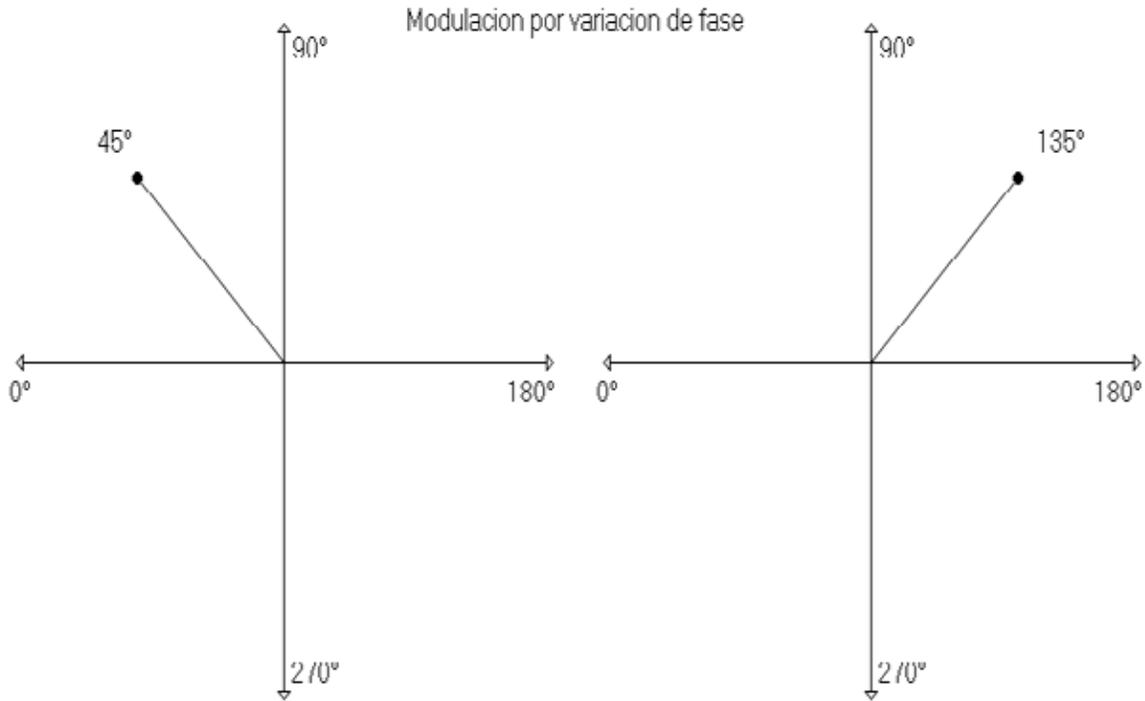


Figura N° 8. Modulación por variación de fase.

Las WLAN se basan en la última modulación, que es la más conveniente para los dispositivos discretos y es más inmune a la atenuación y el ruido.

1.6 Espectro electromagnético.

De acuerdo a la magnitud de la longitud de onda, la radiación electromagnética recibe diferentes nombres: Desde los rayos gamma (con una longitud de onda del orden de picómetros hasta las ondas de radio (longitudes de onda del orden de varios kilómetros) pasando por la luz visible cuya longitud de onda está en el rango de las décimas de micra. El rango completo de longitudes de onda forma el espectro electromagnético, del cual la luz visible no es más que un minúsculo intervalo que va desde la longitud de onda correspondiente al violeta hasta la longitud de onda del rojo. Si hablamos de luz en sentido estricto nos referimos a radiaciones electromagnéticas cuya longitud de onda es capaz de captar el ojo humano, pero técnicamente, el ultravioleta, las ondas de radio o las

microondas también son luz, pues la única diferencia con la luz visible es que su longitud de onda queda fuera del rango que podemos detectar con nuestros ojos; simplemente son "colores" que nos resultan invisibles, pero se pueden detectar mediante instrumentos específicos. En la *figura N° 9*, una ilustración de la ubicación de las WLAN en el espectro.

Uso del espectro en WLAN

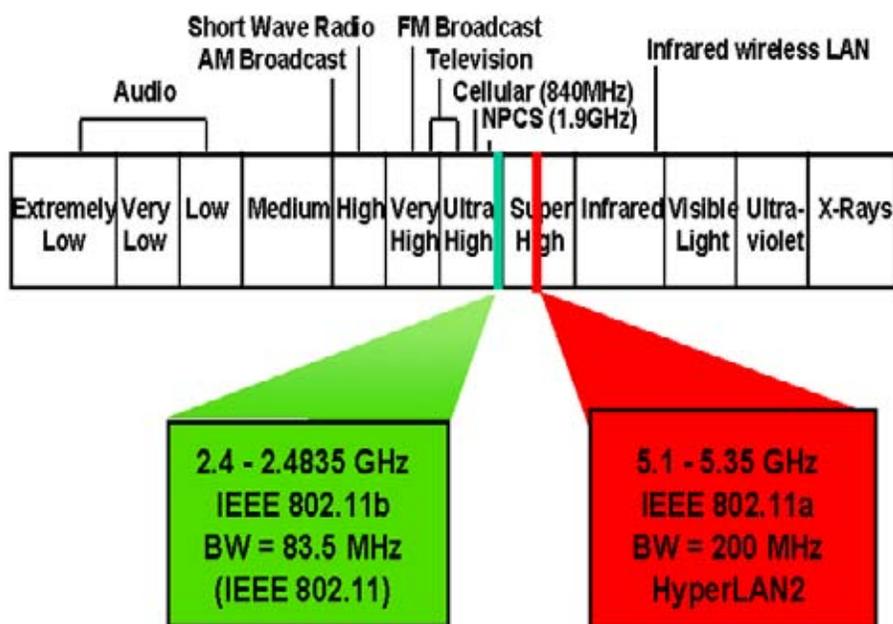


Figura N° 9.

La *tabla N° 1* muestra el espectro electromagnético, con sus longitudes de onda, frecuencias y energías de fotón.

	Longitud de onda	Frecuencia	Energía
<u>Rayos gamma</u>	< 10 PM	>30.0 EHz	>19.9E-15 J
<u>Rayos X</u>	< 10 nm	>30.0 PHz	>19.9E-18 J
<u>Ultravioleta Extremo</u>	< 200 nm	>1.5 PHz	>993E-21 J
<u>Ultravioleta Cercano</u>	< 380 nm	>789 THz	>523E-21 J
<u>Luz Visible</u>	< 780 nm	>384 THz	>255E-21 J
<u>Infrarrojo Cercano</u>	< 2.5 um	>120 THz	>79.5E-21 J
<u>Infrarrojo Medio</u>	< 50 um	>6.00 THz	>3.98E-21 J
<u>Infrarrojo Lejano/submilimetrico</u>	< 1 mm	>300 GHz	>199E-24 J
<u>Microondas</u>	< 30 cm	>1.0 GHz	>1.99e-24 J
	12.5 cm	2.4 Ghz	>1.99e-24 J
	12.08 cm	2.484 Ghz	>1.99e-24 J
Ultra Alta Frecuencia <u>Radio</u>	<1 m	>300 MHz	>1.99e-25 J
Muy Alta Frecuencia <u>Radio</u>	<10 m	>30 MHz	>2.05e-26 J
<u>Onda corta Radio</u>	<180 m	>1.7 MHz	>1.13e-27 J
Onda Media(AM) <u>Radio</u>	<650 m	>650 kHz	>4.31e-28 J
Onda Larga <u>Radio</u>	<10 km	>30 kHz	>1.98e-29 J
Muy Baja Frecuencia <u>Radio</u>	>10 km	<30 kHz	<1.99e-29 J

Tabla N° 1.

1.7 Microondas.

Se denomina así la porción del espectro electromagnético que cubre las frecuencias entre aproximadamente 3 GHz y 300 GHz ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$), que corresponde a la longitud de onda en vacío entre 10 cm. y 1mm.

Por encima de los 100 MHz. las ondas viajan en línea recta y, por tanto, se pueden enfocar en un haz estrecho. Concentrar toda la energía en un haz pequeño con una antena parabólica (como el tan familiar plato de televisión por satélite) produce una señal mucho más alta en relación con el ruido, pero las antenas transmisora y receptora deben estar muy bien alineadas entre sí. Además, esta direccionalidad permite a transmisores múltiples alineados en una fila comunicarse con receptores múltiples en fila, sin interferencia. Antes de la fibra óptica, estas microondas formaron durante décadas el corazón del sistema de transmisión telefónica de larga distancia y este fue el principio de las redes inalámbricas.

A diferencia de las ondas de radio a frecuencias más bajas, las microondas no atraviesan bien los edificios. Además, aun cuando el haz puede estar bien enfocado en el transmisor, hay cierta divergencia en el espacio. Algunas ondas pueden refractarse en las capas atmosféricas más bajas y tardar un poco más en llegar que las ondas directas. Las ondas diferidas pueden llegar fuera de fase con la onda directa y cancelar así la señal. Este efecto se llama desvanecimiento de trayectoria múltiple y con frecuencia es un problema serio que depende del clima y de la frecuencia.

La creciente demanda de espectro obliga a mejorar continuamente la tecnología de modo que las transmisiones puedan usar frecuencias todavía más altas. Las bandas de hasta 10 GHz son ahora de uso rutinario, pero a casi 8 GHz se presenta un nuevo problema: la absorción del agua. Estas ondas sólo tienen unos centímetros de longitud y la lluvia las absorbe.

En síntesis, la comunicación por microondas se utiliza tanto para la comunicación telefónica de larga distancia, los teléfonos celulares, la distribución de la televisión y otros usos, que el espectro se ha vuelto muy escaso. Esta tecnología tiene varias ventajas significativas respecto a la fibra. La principal es que no se necesita derecho de paso; basta comprar un terreno pequeño cada 50 Km. y construir en él una torre de microondas para saltarse el sistema telefónico y comunicarse en forma directa.

Las microondas también son relativamente baratas. Erigir dos torres sencillas (quizá sólo postes grandes con cuatro cables de retén) y poner antenas en cada uno puede costar menos que enterrar 50 Km. de fibra a través de un área urbana congestionada o sobre una montaña, y también puede ser más económico que rentar la fibra de la compañía de teléfonos, en especial si la compañía de teléfonos aún no paga por completo el cobre que quitó cuando instaló la fibra.

Además de servir para transmisión de larga distancia, las microondas tienen otro uso importante, a saber, las bandas **industriales, médicas y científicas (ISM)**. Estas bandas constituyen la excepción a la regla de las licencias: los transmisores que usan estas bandas no requieren licencia del gobierno. Hay una banda asignada mundialmente: de 2.400 a 2.484 GHz. Además, en Estados Unidos, Canadá y Chile existen bandas de 902 a 928 MHz y de 5.725 a 5.850 GHz. Estas bandas se utilizan para teléfonos sin cordón, controles electrónicos de puertas de cocheras, altavoces inalámbricos de alta fidelidad, puertas de seguridad, etc. La banda de 900 MHz es la que funciona mejor pero está muy poblada y el equipo para usarla sólo se puede operar en América del Norte. Las bandas más altas requieren circuitos electrónicos más costosos y están sujetas a la interferencia de los hornos de microondas y de las instalaciones de radar. No obstante, estas bandas son populares en varias aplicaciones de redes inalámbricas de corto alcance porque evitan los problemas asociados con las licencias.

CAPITULO II
ESPECTRO ENSANCHADO

CAPITULO II: ESPECTRO ENSANCHADO

2.1 Técnicas de ensanchado del espectro (Definición).

Los diseñadores de sistemas de comunicación se interesan a menudo en la eficiencia con la que los sistemas utilizan la energía y el ancho de banda de la señal. En muchos sistemas de comunicación estos son los asuntos más importantes. Sin embargo, en algunos casos existen situaciones en las que es necesario que el sistema resista a las interferencias externas, opere con baja energía espectral, proporcione capacidad de acceso múltiple sin control externo y un canal seguro e inaccesible para oyentes no autorizados. Por todo esto, a veces es necesario y conveniente sacrificar algo de la eficiencia del sistema. Las técnicas de modulación de espectro ensanchado permiten cumplir tales objetivos.

Los aspectos teóricos de la utilización del espectro ensanchado en un medio con fuertes interferencias se conocían desde hace ya cuarenta años. Lo que sí ha sido muy reciente es su implementación práctica. Inicialmente, las técnicas de espectro ensanchado se desarrollaron para propósitos militares y sus implementaciones eran extremadamente caras. Sólo los nuevos avances tecnológicos tales como el **VLSI (very large-scale integration**, es decir, el proceso de colocar miles, o cientos de miles de componentes electrónicos en un solo chip) y las técnicas de procesamiento de señal avanzadas hicieron posible desarrollar un equipamiento de espectro ensanchado menos caro para uso civil. Las aplicaciones de esta tecnología incluyen teléfonos móviles, transmisión de datos sin cable y comunicaciones por satélite.

2.2 Origen.

No cabe duda que la tecnología basada en el espectro ensanchado evolucionó de las necesidades del ejército. Fue un resultado natural de la Segunda Guerra Mundial (1939-1945), donde la tecnología jugó un papel muy importante. Durante este periodo, las tácticas de interceptación de señales estaban a la orden del día, y los esfuerzos en la investigación y desarrollo se centraban en facilitar contramedidas de radares y balizas de navegación. Tanto el frente Aliado como las potencias del Eje experimentaron con sistemas simples de espectro ensanchado. No es de extrañar que la primera patente pública disponible de un

sistema basado en espectro ensanchado sea de aquella época. Data del 11 de agosto de 1942, en plena guerra y en contra de lo que se pudiera pensar, no viene firmada por un científico o investigador, sino por una actriz hollywoodiense de la época, Hedy Lamarr y el pianista que la acompañaba, George Antheil. En casi toda la bibliografía consultada, a esta mitificada actriz se la considera como la inventora del concepto de transmisión en espectro ensanchado.

Se cuenta que Lamarr, que tenía amplios conocimientos de guerra y armas, o al menos de oídas, ya que su marido había conocido a Hitler y Mussolini, ideó un sistema de guiado de misiles por medio de radiofrecuencias que permitiría destruir los submarinos alemanes. La idea ya existía y nunca funcionaba ya que se podía interferir en la frecuencia e inutilizar el dispositivo. Pero a Hedy se le ocurrió que la frecuencia se podía cambiar constantemente (como se hace al tocar un piano, que fue lo que la inspiró) y de esa forma se podría controlar un torpedo por radio sin que pudiera ser interferido. Es decir, cambiando constantemente la frecuencia del transmisor, a la misma vez que se cambia en el receptor, resultaría imposible interferir en el control del torpedo. Técnicamente, a la actriz americana se le ocurrió una especie de sistema que actualmente se conoce con el nombre de salto de frecuencia. Tras varios meses de trabajo y diseño del sistema, y con la ayuda del gobierno estadounidense, se le otorgó la patente (firmada con su nombre de soltera Hedy Kiesler Markey). Sin embargo, se le detectaron problemas en su mecanismo, que no era muy adecuado para usarse en un torpedo y la Marina declaró que el sistema era demasiado vulnerable, archivando así la idea, y haciendo que Lamarr abandonara el proyecto.

En 1957, ingenieros de la empresa americana Sylvania Electronics Systems Division utilizaron transistores para desarrollar el sistema inventado por Lamarr y en 1962, el concepto fue adoptado por el gobierno de los EEUU para las comunicaciones militares, tres años después de que la patente caducara. Hedy Lamarr nunca ganó dinero por su invento. En la actualidad, muchos sistemas orientados a voz y datos, tanto civiles como militares emplean sistemas de espectro ensanchado, y cada vez se encuentran más aplicaciones. Una prueba de ello es que entre 1995 y 1997 se patentaron más de 1200 ideas relacionadas con el espectro ensanchado.

Se han desarrollado varios tipos de técnicas de espectro ensanchado, de los que se distinguen 2 para su uso en las WLAN:

- Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS).
- Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia (FHSS).

2.3 Tecnología de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS).

El espectro ensanchado por secuencia directa (del inglés direct sequence spread spectrum o DSSS), también conocido en comunicaciones móviles como DS-SS (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos de modulación en espectro ensanchado para transmisión de señales digitales sobre ondas radiofónicas que más se utilizan. Tanto DSSS como FHSS están definidos por la IEEE en el estándar 802.11 para redes de área local inalámbricas WLAN.

El espectro ensanchado por secuencia directa es una técnica de modulación que utiliza una señal de chip o también llamada señal de pseudo-ruido (es decir, una señal periódica que parece ruido pero que no lo es), para modular directamente una portadora, de tal forma que aumente el ancho de banda de la transmisión y reduzca la densidad de potencia espectral (es decir, el nivel de potencia en cualquier frecuencia dada). La señal resultante tiene un espectro muy parecido al del ruido, de tal forma que a todos los radiorreceptores les parecerá ruido menos al que va dirigida la señal. En recepción es necesario realizar el proceso inverso para obtener la señal de información original.

Para la secuencia directa, el incremento de ensanchado depende de la tasa de bits de la secuencia pseudo-aleatoria por bit de información.

La secuencia de bits utilizada para modular cada uno de los bits de información es la llamada secuencia de Barker y tiene la siguiente forma:

+1, -1, +1, +1, -1, +1, +1, +1, -1, -1, -1

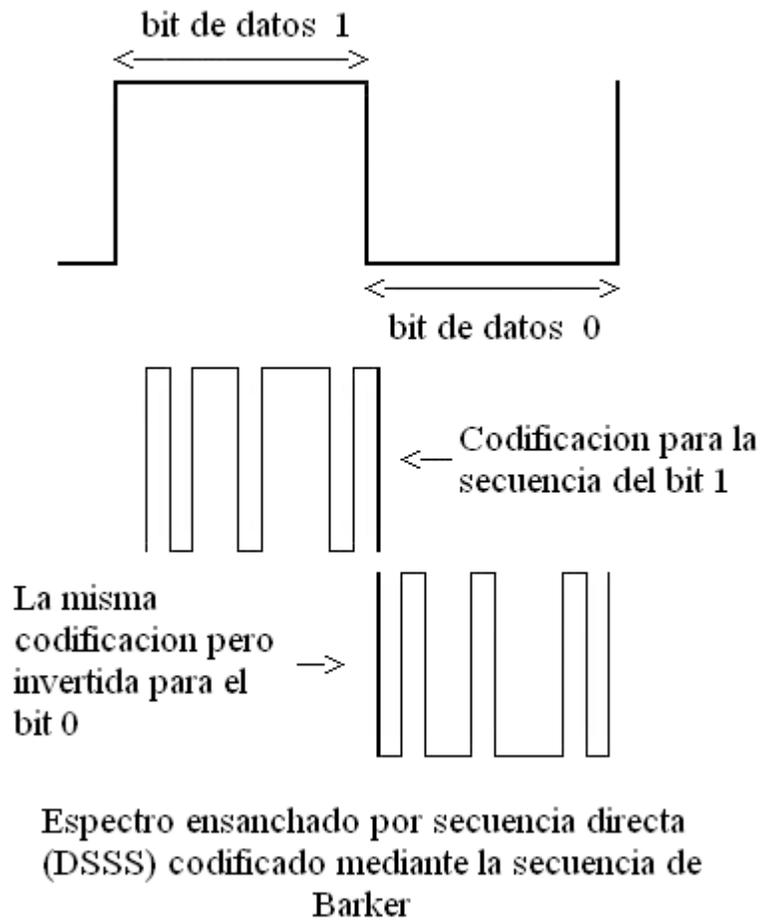


Figura N° 10. Secuencia Barker

Esta es una secuencia de 11 *chip*. En la *Figura N° 10*, se muestra el aspecto de una señal de dos bits a la cual se le ha aplicado la secuencia de Barker.

DSSS tiene definidos dos tipos de modulaciones a aplicar a la señal de información una vez se sobrepone la señal de chip tal y como especifica el estándar IEEE 802.11: la modulación DBPSK, Differential Binary Phase Shift Keying y la modulación DQPSK, Differential Quadrature Phase Shift Keying proporcionando unas velocidades de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente.

En el caso de Estados Unidos y de Europa la tecnología de espectro ensanchado por secuencia directa, DSSS, opera en el rango que va desde los 2.4 GHz hasta los 2.4835 GHz, es decir, con un ancho de banda total disponible de 83.5 MHz. Este ancho de banda total se

divide en un total de 14 canales con un ancho de banda por canal de 5 MHz de los cuales cada país utiliza un subconjunto de los mismos según las normas reguladoras para cada caso particular. En el caso de España se utilizan los canales 10 y 11 ubicados en una frecuencia central de 2.457 GHz y 2.462 GHz respectivamente.

En topologías de red que contengan varias celdas, ya sean solapadas o adyacentes, los canales pueden operar simultáneamente sin apreciarse interferencias en el sistema si la separación entre las frecuencias centrales es como mínimo de 30 MHz. Esto significa que de los 83.5 MHz de ancho de banda total disponible podemos obtener un total de 3 canales independientes que pueden operar simultáneamente en una determinada zona geográfica sin que aparezcan interferencias en un canal procedentes de los otros dos canales. Esta independencia entre canales nos permite aumentar la capacidad del sistema de forma lineal con el número de puntos de acceso operando en un canal que no se esté utilizando y hasta un máximo de tres canales. En el caso de España esta extensión de capacidad no es posible debido a que no existe el ancho de banda mínimo requerido (la información sobre la distribución de las frecuencias en distintas regiones del mundo se encuentra disponible en el estándar IEEE 802.11).

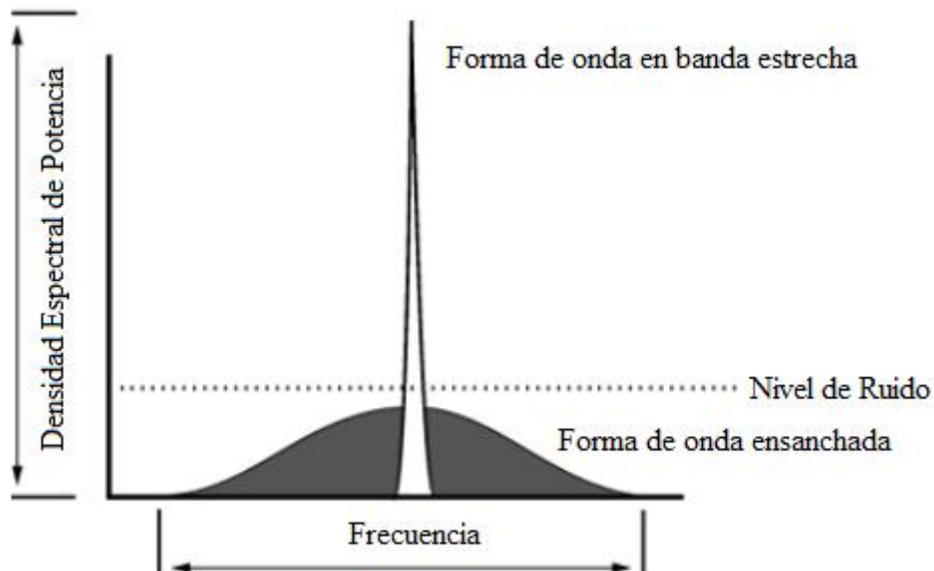


Figura N° 11

La *figura N° 11* es una comparación de una señal en banda estrecha con una señal modulada en **secuencia directa**. La señal en banda estrecha se suprime al transmitir el espectro ensanchado.

2.3.1 Modelo de modulación en Secuencia Directa.

La técnica de modulación por secuencia directa se suele implementar con un modulador, en el que la fase de la señal portadora varía en concordancia con la amplitud de la señal de datos a transmitir (MP), y un generador de pseudo-ruido utilizado para ensanchar el espectro de la señal de datos.

Hay dos formas posibles de enfocar la implementación de la secuencia directa, ya que los procesos llevados a cabo por el modulador y el generador de pseudo-ruido se pueden cambiar de orden. En esta sección asumiremos que en una primera etapa el transmisor ensancha la señal de datos, y en una segunda etapa, la señal se modula. De esta forma se podrá explicar cada etapa por separado. En el receptor basta con seguir el orden inverso: primero demodular la señal recibida y después proceder a su desensanchamiento para recuperar la información original. El procedimiento que acabamos de explicar puede verse con más claridad en el siguiente diagrama de bloques de la *Figura N° 12*.

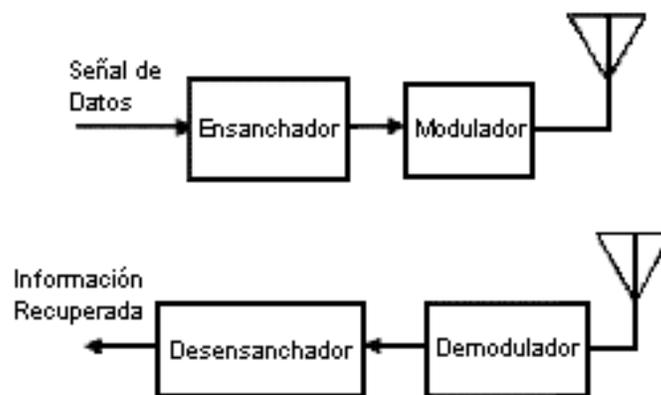


Figura N° 12. Diagrama de bloques de un sistema transmisor sencillo (arriba) y receptor (abajo) de espectro ensanchado en secuencia directa.

2.3.1.1 El transmisor.

En la **Figura 13** volvemos a representar el diagrama de bloques de un transmisor en secuencia directa, pero esta vez se han detallado los componentes que lo constituyen:

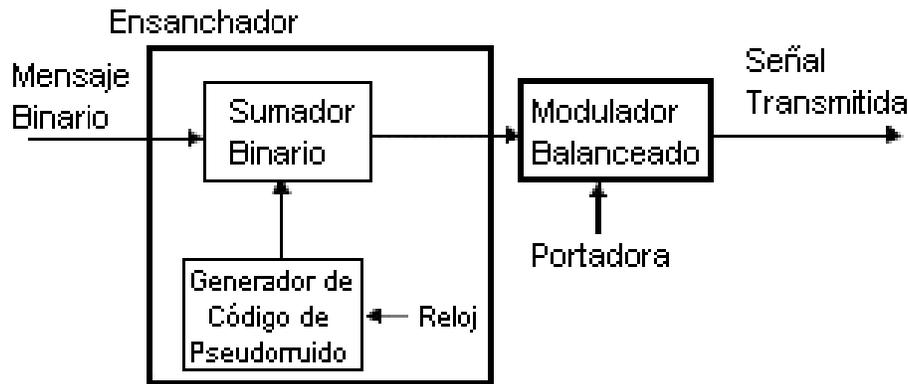


Figura N° 13. Transmisor de secuencia directa.

2.3.1.2 El ensanchador.

Vemos que el ensanchador de la figura anterior está compuesto por un generador de código de pseudo-ruido y un sumador binario. La salida binaria del generador de pseudo-ruido se suma en módulo 2 con el mensaje binario que contiene la información que queremos transmitir, como se muestra en la **Figura 14**.

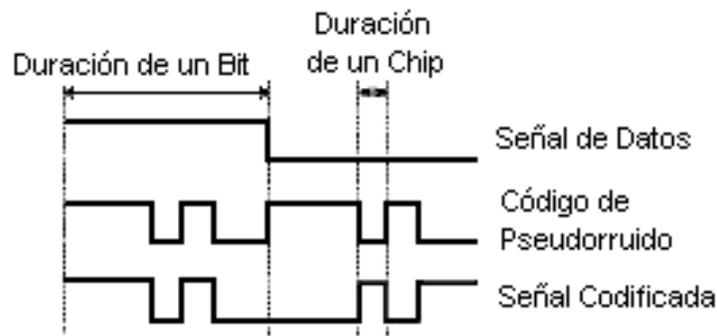


Figura N° 14. Ensanchado mediante código de pseudo-ruido.

Lo que se obtiene con esta operación es el ensanchamiento del espectro de la señal de datos. Para comprender mejor por qué ocurre esto, podemos ver el ejemplo particular de la **Figura N° 15**. En ella, suponemos que tenemos un pulso cuadrado de duración T_b que representa una parte de la señal binaria que contiene la información. Su transformada de Fourier, es una función seno cociente que cruza por cero para valores $1/T_b$. Esta señal se multiplica por una secuencia de pseudo-ruido con pulsos de corta duración, T_c , y que en el dominio de la frecuencia cruza por cero en $1/T_c$, formando así la señal en espectro ensanchado. Es aquí donde mejor se aprecia que la señal a la que se le ha ensanchado el espectro es mucho mayor que el del mensaje que se quería transmitir. El incremento de tiempo más pequeño en la secuencia de pseudo-ruido, T_c , se le conoce en cualquier bibliografía consultada como *tiempo chip*.

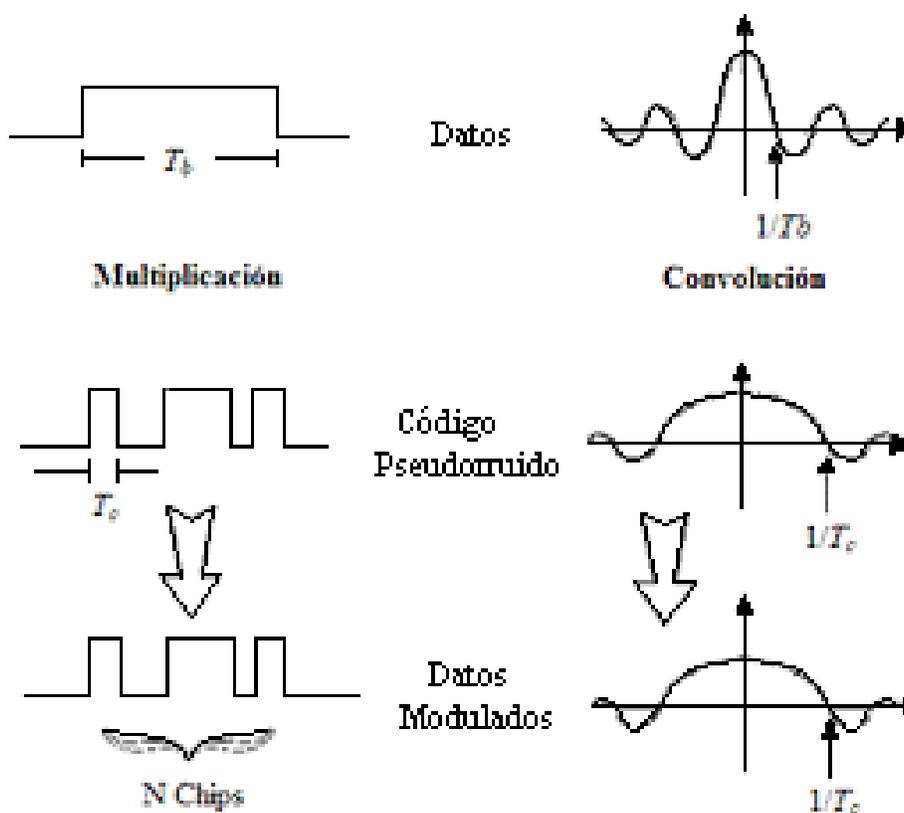


Figura N° 15. Ejemplo de ensanchado en una modulación DSSS.

2.3.1.3 El modulador.

Una vez que se obtiene la suma (es decir, la señal ya ensanchada en frecuencia), se utilizará para modular una portadora mediante un modulador, equilibrado. Esta modulación será, tal y como especifica el estándar IEEE 802.11DBPSK (differential binary phase shift keying) o DQPSK (differential quadrature phase shift keying), proporcionando unas velocidades de transferencia de 1 y 2 Mbps respectivamente. Por lo tanto, la señal resultante se transmite de tal forma, que cada bit del mensaje original se envía varias veces con una frecuencia distinta. Esta redundancia aumenta las posibilidades de que el mensaje pueda pasar incluso a través de zonas urbanas muy pobladas, donde las interferencias son un problema. En cuanto a cifras, en el caso de Estados Unidos y de Europa la tecnología de espectro ensanchado por secuencia directa, DSSS, opera en el rango que va desde los 2.4 GHz hasta los 2.4835 GHz, es decir, con un ancho de banda total disponible de 83.5 MHz. Este ancho de banda total se divide en un total de 14 canales con un ancho de banda por canal de 5 MHz de los cuales cada país utiliza un subconjunto de los mismos según las normas reguladoras para cada caso particular. En el caso de España se utilizan los canales 10 y 11 ubicados en una frecuencia central de 2.457 GHz y 2.462 GHz respectivamente.

2.3.1.4 El receptor.

La recepción de la señal se realiza siguiendo los pasos inversos al proceso de modulación:

- a.- Se recibe la portadora y se amplifica
- b.- La señal recibida se mezcla con una portadora local (como en cualquier proceso normal de demodulación) para recuperar la señal ensanchada.
- c.- Se genera un código de pseudo-ruido que esté sincronizado con la señal que se acaba de obtener y se multiplica por la señal que se acaba de recibir. Puesto que el código está formado por unos positivos y ceros o unos negativos, esta operación elimina completamente el código de pseudo-ruido de la señal, quedando sólo la señal de datos.

Una observación curiosa es que la operación que hace el ensanchado y la que lo deshace es la misma. La consecuencia es que cualquier posible señal de *jamming* en el

canal de radio será desensanchada antes de que se ejecute la detección de los datos. Por lo tanto se reducen los efectos de las interferencias malintencionadas. En cambio, uno de los problemas al aplicar el ensanchado mediante secuencia directa es el así conocido como efecto cerca-lejos, que se ilustra en la *Figura N° 16*.



Figura N° 16. Efecto cerca-lejos.

Este efecto se presenta cuando hay un transmisor que interfiere porque está mucho más cerca del receptor que el transmisor que en realidad le corresponde. Aunque la correlación cruzada entre los códigos de pseudo-ruido de A y de B es baja, la correlación entre la señal recibida del transmisor interferente B y el código de A puede ser mayor que la correlación entre la señal recibida del transmisor que le corresponde y el código de A. El resultado es que no es posible una detección correcta de los datos.

2.3.1.5 Propiedades.

Hay varias propiedades únicas que surgen como resultado de las secuencias pseudo-aleatorias y el gran ancho de banda de la señal que éstas generan. Dos de esas propiedades son el direccionamiento selectivo y la multiplexación por división de código. Al asignar una secuencia pseudo-aleatoria dada a un receptor particular, la información se le debe direccionar de forma distinta con respecto a los otros receptores a los que se les ha asignado una secuencia diferente. Las secuencias también pueden escogerse para minimizar la interferencia entre grupos de receptores al elegir los que tengan una correlación cruzada baja. De esta forma, se puede transmitir a la misma vez más de una señal en la misma frecuencia. Como vemos, el direccionamiento selectivo y el acceso múltiple por división de código (CDMA) se implementan gracias a las secuencias pseudo-aleatorias.

Otras dos de estas propiedades son la baja probabilidad de interceptación y el anti-jamming (la capacidad para evitar las interferencias intencionadas). Cuando a una señal se la expande sobre varios megahercios del espectro, su potencia espectral también se ensancha. Esto hace que la potencia transmitida también se ensanche sobre un extenso ancho de banda y dificulta la detección de forma normal (es decir, sin la utilización de ninguna secuencia pseudo-aleatoria). Este hecho también implica una reducción de las interferencias. De esta forma, el espectro ensanchado puede sobrevivir en un medio adverso y coexistir con otros servicios en la misma banda de frecuencia. La propiedad anti-jamming es un resultado del gran ancho de banda usado para transmitir la señal. Si recordamos el *teorema de Shannon*:

$$C = W \cdot \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$$

Ecuación N° 4

; Donde:

C = capacidad de transmisión, en bits por segundo

W = ancho de banda

S = potencia de la señal

N = potencia del ruido

Vemos que la capacidad del canal es proporcional a su ancho de banda y a la relación señal-ruido del canal.

De la ecuación anterior se deduce que al expandir el ancho de banda en varios megahercios hay más del ancho de banda suficiente para transportar la tasa de datos requerida, permitiendo contrarrestar los efectos del ruido.

A los sistemas de espectro ensanchado se les reconocen al menos cinco cualidades importantes en su funcionamiento, debidas a la naturaleza de su señal:

Con una ganancia de procesamiento alta (el cociente entre el ancho de banda de la señal transmitida y el ancho de banda de la señal original) y señales portadoras impredecibles (generadas con las secuencias pseudo-aleatorias) se puede conseguir una baja probabilidad de interceptación, siempre que la potencia de la señal se expanda uniformemente por todo el dominio de frecuencias.

Las señales portadoras impredecibles aseguran una buena capacidad contra *jamming*. El *jammer* (aquella persona que se dedica a interferir en las señales) no puede usar observaciones de la señal para mejorar su funcionamiento en este caso, y debe confiar en técnicas que sean independientes de la señal que se quiere interceptar.

Mediante la detección por correlación de señales de banda ancha se consigue una gran resolución temporal. Las diferencias en el tiempo de llegada de la señal de banda ancha son detectables. Esta propiedad puede usarse para eliminar el efecto multisenda e, igualmente, hacer ineficaces los repetidores de los *jammers*.

Los pares transmisor-receptor que usan portadoras pseudo-aleatorias independientes pueden operar en el mismo ancho de banda con una interferencia entre canales mínima. A estos sistemas se les llama de acceso múltiple por división de código (del inglés **code division multiple access** o **CDMA**).

Se obtienen propiedades criptográficas al no poder distinguir la modulación de los datos de la modulación de la portadora. La modulación de la portadora es efectivamente aleatoria para un observador no deseado. En este caso, la modulación de la portadora en espectro ensanchado adquiere el papel de llave en un sistema de cifrado. Un sistema que usa datos indistinguibles y una modulación de portadora en espectro ensanchado forman un sistema confidencial.

2.4 Tecnología de Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia (FHSS).

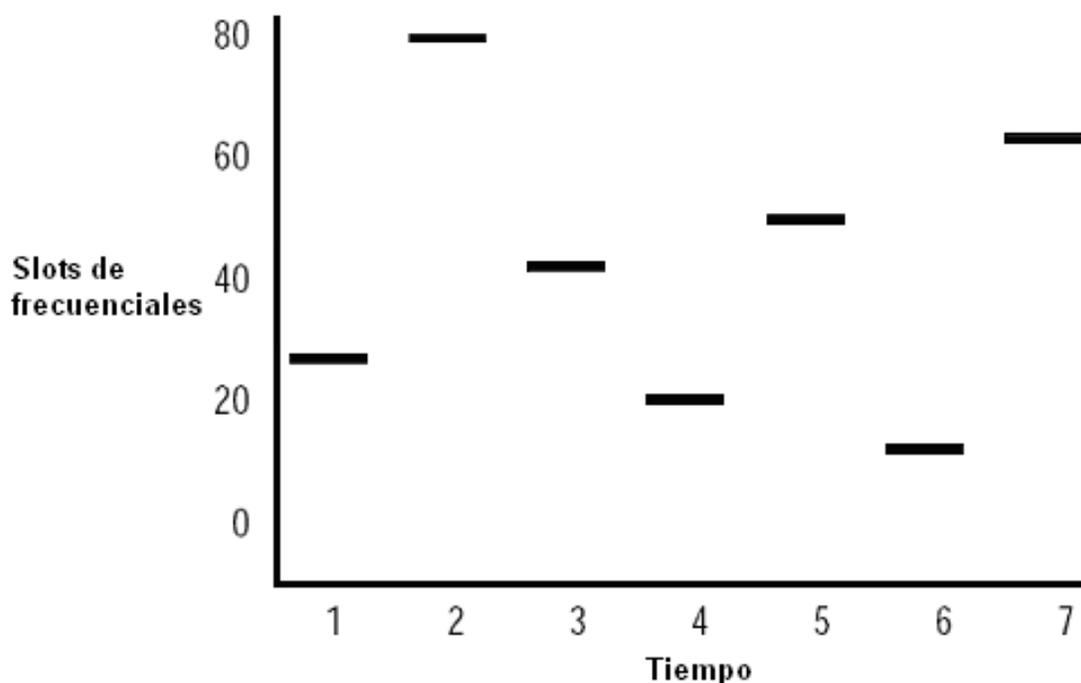
El salto de frecuencia (FHSS), la segunda técnica importante de transmisión de espectro de extensión, es de hecho una señal de banda estrecha que cambia la frecuencia de un modo rápido y continuo.

La tecnología de espectro ensanchado por salto en frecuencia 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.

Cada una de las transmisiones a una frecuencia concreta se realiza utilizando una portadora de banda estrecha que va cambiando (saltando) a lo largo del tiempo. Este procedimiento equivale a realizar una partición de la información en el dominio temporal. El orden en los saltos en frecuencia que el emisor debe realizar viene determinado según una secuencia pseudo-aleatoria que se encuentra definida en unas tablas que tanto el emisor como el receptor deben conocer. La ventaja de estos sistemas frente a los sistemas DSSS es que con esta tecnología podemos tener más de un punto de acceso en la misma zona geográfica sin que existan interferencias si se cumple que dos comunicaciones distintas no utilizan la misma frecuencia portadora en un mismo instante de tiempo.

Si se mantiene una correcta sincronización de estos saltos entre los dos extremos de la comunicación el efecto global es que aunque vamos cambiando de canal físico con el tiempo se mantiene un único canal lógico a través del cual se desarrolla la comunicación.

Para un usuario externo a la comunicación la recepción de una señal FHSS equivale a la recepción de ruido impulsivo de corta duración.



Modo de trabajo Espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS)

Figura N° 17. Esquema FHSS.

El estándar IEEE 802.11 describe esta tecnología mediante la modulación en frecuencia FSK, Frequency Shift Keying, y con una velocidad de transferencia de 1 Mbps ampliable a 2Mbps bajo condiciones de operación óptimas también especificadas en la rama. El inconveniente del FHSS en relación con el DSSS es que es más vulnerable a las interferencias de la banda estrecha.

CAPITULO III
INTRODUCCION AL PROTOCOLO 802.11b

CAPITULO III: INTRODUCCION AL PROTOCOLO 802.11b

3.1 Modelo de referencia OSI y Modelo de referencia TCP/IP.

El modelo de referencia OSI fue desarrollado por la organización internacional de normas (ISO) en una forma para la estandarización internacional de los protocolos basados en capas, este modelo se llamó OSI (open systems interconnection, interconexión de sistemas abiertos) de la ISO, y se basó en 7 capas y está hecho en forma genérica para adaptarse a cualquier protocolo de comunicación. Pero con el tiempo gracias a ARPANET se desarrolló el modelo de referencia TCP/IP, el cual es el protocolo reinante actualmente, por lo que se hace más referencia a este modelo de 4 capas simplificado para TCP/IP, en la siguiente (*figura N° 18*) se muestran los dos modelos y su forma de interacción.

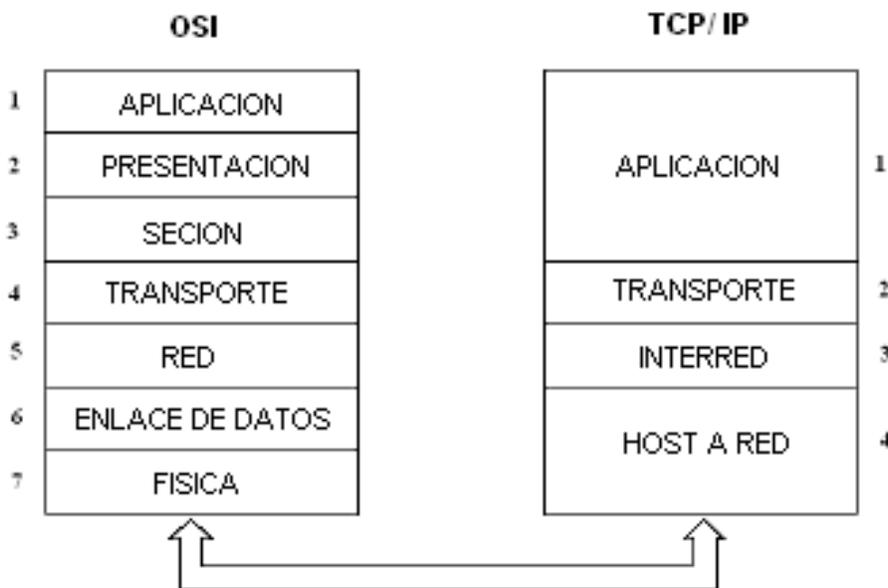


Figura N° 18. Modelo OSI y OSI TCP/IP.

La comunicación en los modelos siempre comienza en la capa más baja, en el caso de OSI es física y para TCP/IP es Host a Red, y ahí la comunicación del protocolo asciende en las capas por el modelo de acuerdo a la complejidad que empieza a adquirir la comunicación, hasta llegar a la aplicación, se hará una breve explicación del modelo para cada capa.

En el caso del modelo OSI:

- Capa Física: es lo referente a la transmisión de bits, los conectores, las señales eléctricas, el medio de transmisión, cables, frecuencias etc.
- Enlace de Datos: se encarga de desplazar los datos por el enlace físico hasta el nodo receptor, e identificar a cada computadora de acuerdo a su dirección.
- Red: es la que encamina los paquetes, además de encargarse de entregarlos, determina la ruta que seguirán los paquetes y el intercambio efectivo de los mismos dentro de la ruta, los controla esta capa.
- Transporte: es la encargada de controlar el flujo de datos entre los puntos que establecen una comunicación, analiza los errores, la secuencia del paquete, el tamaño del paquete de acuerdo a las necesidades del conjunto de protocolos.
- Sesión: esta capa establece el enlace de comunicación o sesión entre las computadoras emisora y receptora, también establece la sesión que establece entre nodos o host.
- Presentación: es la capa que toma los paquetes y los convierte en un formato genérico que pueden leer todas las computadoras, por ejemplo ASCII.
- Aplicación: es la que proporciona la interfase y servicios que soportan las aplicaciones de usuario, también ofrece acceso general a la red.

En el modelo OSI la capa de enlace esta dividida en 2 subcapas, las cuales se ven en la (figura N° 19).

CAPA DE ENLACE DE DATOS

Subcapa LLC layer link control	IEEE 802.2
Subcapa MAC media acces control	IEEE 802.3 IEEE 802.5 IEEE 802.12

Figura N° 19. Capa de enlace de datos.

Esta modificación se debe al modelo OSI en la norma IEEE 802.X, la subcapa LLC (control lógico del enlace) mantiene el enlace entre el emisor y el receptor cuando los datos se desplazan por el entorno físico de la red. La subcapa MAC (control de acceso al medio) determina la forma en que las computadoras se comunican dentro de la red, y como la computadora puede acceder al entorno físico para enviar datos, la subcapa MAC es dividida en varios niveles por la norma IEEE 802.X de acuerdo a Ethernet y Token Ring.

En el caso del modelo TCP/IP:

- Capa de Nodo a Red: es el medio de conexión de la red de modo físico.
- Capa de Interred: es la que permite la conexión en la red, uniendo toda la arquitectura y permitiendo que los paquetes viajen por la red independiente de su destino.
- Capa de Transporte: esta capa es la que permite que origen y destino lleven a cabo una comunicación como en la capa de transporte del modelo OSI.
- Capa de Aplicación: en el modelo TCP/IP la capa de aplicación también contiene a las de sesión y presentación del modelo OSI, esto ocurre por que no se pensó que fueran necesarios, la capa de aplicación contiene todos los protocolos de alto nivel como TELNET, FTP y SMTP por ejemplo.

Con esto se finalizó, una breve reseña al modelo OSI que es una referencia fundamental en las redes de cualquier tipo, es el modelo común para la explicación del funcionamiento de cualquier protocolo, en el caso de un protocolo en desarrollo se usa el OSI desarrollado por la ISO, para las WLAN el mayor desarrollo fue en las capas física y enlace del modelo OSI.

Todos estos enfoques distintos tienen la misma capa MAC implantada. La mayoría de los productos WLAN de 11 Mbps utilizan tecnología de RF y se sustentan en DSSS para la comunicación.

3.2 Introducción a las WLAN.

El comité IEEE 802.11 es el encargado de desarrollar los estándares para las redes de área local inalámbricas.

El estándar IEEE 802.11 se basa en el mismo marco de estándares que Ethernet. Esto garantiza un excelente nivel de interoperatividad y asegura una implantación sencilla de las funciones y dispositivos de interconexión Ethernet/WLAN.

A menudo, las infraestructuras de comunicación basadas en esquemas de cableado tradicionales no son factibles debido a motivos técnicos o económicos. En estos casos, los productos inalámbricos se erigen como alternativas flexibles a las redes cableadas.

La tecnología inalámbrica también ofrece excelentes soluciones cuando se necesitan instalaciones de red temporales.

Éstas son algunas de las aplicaciones habituales de las redes WLAN:

Redes temporales

Motivos arquitectónicos (leyes urbanísticas, protección de edificios históricos, etc.)

Aplicaciones móviles

Soluciones de red flexibles

LAN interconectadas

A menudo, cuando las soluciones de comunicación más tradicionales no pueden aplicarse con tecnologías de cable convencionales, surge la tecnología inalámbrica para hacer realidad lo que parecía casi imposible, con una fácil implantación y una gran rentabilidad.

La implantación de redes cableadas en edificios ya construidos puede presentar grandes problemas. Las leyes urbanísticas y las ordenanzas municipales destinadas a la protección de edificios históricos pueden multiplicar los costes y causar problemas técnicos al encargado de implantar las redes cableadas.

El comité IEEE encargado de la tecnología de red de área local desarrolló el primer estándar para redes LAN inalámbricas (IEEE 802.11).

El IEEE revisó ese estándar en octubre de 1999 para conseguir una comunicación por RF a velocidades de datos más altas. El IEEE 802.11b resultante describe las características de las comunicaciones LAN RF de 11 Mbps.

El estándar IEEE 802.11 está en constante desarrollo. Existen varios grupos de trabajo encargados de proponer y definir nuevas mejoras y apéndices al estándar WLAN:

3.3 PROTOCOLO 802.11b

Tuvo sus orígenes en Septiembre de 1999, pero la producción de equipos empezó a principios de 2000 cuando empezó a aparecer el stock a público, pues los equipos de 1999 eran beta y estaban en ajustes. Uno de los factores importante de estos equipos y que se considera importante, es que por primera vez después de las Bios de las placas madre, los equipos 802.11b y sus sucesores inalámbricos poseen la capacidad de actualizar Firmware; esto permite modificar el software interno de los DSP que controlan las tarjetas (NIC) basados en memorias electrónicamente re-escribibles como las E²ROM o las EPROM, con lo que se pueden realizar correcciones a la comunicación inalámbrica de los equipos, hacer mejoras en problemas de seguridad detectados y corregir problemas con sistemas operativos y dispositivos. Otra cosa importante en esta norma es que se estableció una certificación de compatibilidad de equipos conocida como WI-FI lo que permitió la total compatibilidad de los equipos como ocurre con todas la tarjetas de RED Ethernet. 802.11b es una prolongación de la norma 802.11 original en la banda de los 2,4 GHZ. Del espectro ISM, 802.11b es una extensión de DSSS original, junto con algunas correcciones. A los modos DBPSK a 1 Mbps. Y DQPSK a 2 Mbps. se agregaron los modos 5,5 Mbps. Y 11 Mbps. Usando la tecnología de 8 a 11-chip llave de códigos complementarios (complementary code keying) (**CCK**), además la mayoría de los dispositivos usan tecnología **auto Fall-Back** en que el equipo modifica su modulación de acuerdo a la potencia de la señal recibida, con lo que si la señal es potente funcionará automáticamente a 11 Mbps. Pero si decae cambiará por este efecto a 5,5 Mbps hasta llegar a 1 Mbps. De acuerdo a la recepción del equipo que según la marca varia, por ejemplo -80dBm para 11 Mbps. Esto no nos dará mucho alcance, por lo general 50 metros en una oficina. Además 802.11b tomó prestado la capacidad muy útil de los teléfonos celulares y es capaz de hacer **Roaming** y pasar de una celda inalámbrica a otra sin intervención del usuario con lo que se permite la comunicación inalámbrica en movimiento.

3.3.1 Uso del espectro.

En forma general el uso del espectro es igual a la norma original, recordemos que Chile se rige por normas Norteamericanas de la FCC por lo general.

REGION	ESPECTRO USADO	BW
U.S.A.	2.4000 – 2.4835 GHz.	83.5 MHz.
Europa	2.4000 – 2.4835 GHz.	83.5 MHz.
Japón	2.4000 – 2.497 GHz.	97 MHz.
Francia	2.4465 – 2.4835 GHz.	37 MHz.
España	2.445 – 2.475 GHz.	30 MHz.

Tabla N° 2. Espectro y ancho de banda en 802.11b.

TABLA DE CANALES REGULADOS							
N° de Canal	Frecuencia (MHz.)	FCC USA. Chile	IC Canada	ETSI Europa	España	Francia	Japón
1	2412	X	X	X			X
2	2417	X	X	X			X
3	2422	X	X	X			X
4	2427	X	X	X			X
5	2432	X	X	X			X
6	2437	X	X	X			X
7	2442	X	X	X			X
8	2447	X	X	X			X
9	2452	X	X	X			X
10	2457	X	X	X	X	X	X
11	2462	X	X	X	X	X	X
12	2467			X		X	X
13	2472			X		X	X
14	2484						X

Tabla N° 3. Canales regulados en 802.11b con su canal por defecto.

Cabe destacar que Japón que sólo usaba el canal 14, pero a finales del 2001 se permitió en Japón el uso de los canales europeos ETSI; están marcados en negrita los canales por defecto de la mayoría de las tarjetas y equipos, la norma 802.11b se usa 5 canales de 5 MHz. Con lo que el BW total es 25 MHz..

3.3.2 Potencia en la transmisión.

La *tabla N° 4* de potencia se mantuvo igual a la norma 802.11 original. Pero los equipos para atenerse a la norma europea se regularon a 100 mW. máximo, pero además funcionan con menos potencia para ahorrar energía.

Parámetros de potencia en transmisión disponibles	
Potencia mW (miliWatt)	Relación dBm
100	20
50	17
30	15
20	13
5	7
1	0

Tabla N° 4. Potencia en la transmisión.

Existen equipos que no transmiten a la potencia máxima de 100 mW y lo hacen fuera de esta tabla, por ejemplo 70 mW, este es el caso de algunos productos con lo que hay que tener cuidado al adquirir productos muy baratos.

3.3.3 Modos de modulación DSSS.

Se conservan los modos DSSS a 1 Mbps. Y 2 Mbps. Con lo que se apreciará un sistema casi igual, solo que un poco más eficiente y compatible con las nuevas características de 802.11b.

Codificación 1 Mbps DBPSK (Differential Binary phase shift keying)

Entrada de BIT	Cambio de fase (+j ω)
0	0
1	π

Tabla N° 5. DBPSK a 1 Mbps.

Codificación 2 Mbps DQPSK (Differential Quadrature phase shift keying)

Entrada de BIT	Cambio de fase (+j ω)
00	0
01	$\pi/2$
10	π
11	$3\pi/2, (-\pi/2)$

Tabla N° 6. DQPSK a 2 Mbps.

3.3.4 Modos de modulación CCK.

Una de las mejoras importantes en 802.11b fue el agregado de la modulación CCK (Complementary Codes Keying) que permite tasas de transmisión de 5.5 Mbps y 11 Mbps, la extensión del código esta basada en 4 y 8 códigos complementarios respectivamente, como una codificación sobre DQPSK, para la modulación CCK se crea una mini compresión basada en un algoritmo que crea una palabra código $C = \{c0 \text{ a } c7\}$, el cuarto y séptimo símbolo son rotados en 180° para una cobertura de secuencia y para optimizar las propiedades de correlación de la secuencia.

3.3.5 Modo CCK a 5,5 Mbps.

En el modo a **5,5 Mbps** se usan 4 bit (d0 a d3) son transmitidos por símbolos. En la tabla apreciaremos la Codificación para los bit d0 y d1 basada en DQPSK como $\phi_1, +j\omega$ define una rotación en sentido de las agujas del reloj. El cambio de fase depende del valor del símbolo anterior como se muestra en la (tabla N° 7).

Patron Dibit (d0, d1) (d0 es el primero)	simbolos iguales cambio de fase (+j ω)	nuevos simbolos cambio de fase (+j ω)
00	0	π
01	$\pi/2$	$3\pi/2$ ($-\pi/2$)
11	π	0
10	$3\pi/2$ ($-\pi/2$)	$\pi/2$

Tabla N° 7. Patrón Dibit en modulación CCK a 5.5 Mbps.

Los Dibit de datos (d2, d3) se codifican de la forma que mostrara la (tabla 16) siguiente.

d2, d3	c1	c2	c3	c4	c5	c6	c7	c8
00	1j	1	1j	-1	1j	1	-1j	1
01	-1j	-1	-1j	1	1j	1	-1j	1
10	-1j	1	-1j	-1	-1j	1	1j	1
11	1j	-1	1j	1	-1j	1	1j	1

Tabla N° 8. Codificación de los Dibit.

Esta (tabla N° 8) deriva de una serie de algoritmos $\phi_2 = (d_2 \times \pi) + \pi/2$, $\phi_3 = 0$, $\phi_4 = d_3 \times \pi$, en la tabla (d2, d3) están en el orden expuesto, y en los códigos expuestos c0 a c7, c0 es el primero en ser transmitido. Esta tabla esta manipulando el código de Barker, donde además se está modificando la fase.

3.3.6 Modo CCK a 11 Mbps.

En el modo a 11 Mbps se usan 8 bits (d0 a d7) en la transmisión por símbolos. Los primeros Dibit (d0 y d1) son codificados en la forma ϕ_1 que apreciamos en la tabla anterior para el modo a 5,5 Mbps DQPSK, donde se cambia la fase de acuerdo al símbolo precedente. Los Dibit (d2,d3),(d4,d5) y (d6,d7) se codifican ϕ_2 , ϕ_3 y ϕ_4 respectivamente, basados en un método QPSK que apreciaremos en la (tabla N° 9) subsiguiente.

Patron Dibit [di, d(i+1)] (di es el primero)	Fase
00	0
01	$\pi/2$
10	π
11	$3\pi/2$ ($-\pi/2$)

Tabla N° 9. Patrón Dibit en modulación CCK a 11 Mbps.

3.3.7. Modulación DSSS/PBCC a 11/22 Mbps (opcional).

Este modo es opcional, y está basado en la codificación QPSK en métodos BCC (codificación convolucional binaria) con Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS), bajo un complejo algoritmo en el que una matriz de cobertura de 16 x 16 códigos influye en la codificación dando 64 estados binarios convolucionales, además de códigos convolucionales sólo lo integraron en algunos equipos propietarios para comunicaciones a 22 Mbps las cuales están fuera de la compatibilidad universal de 802.11b.

3.3.8. Uso de auto FALL-BACK.

En la mayoría de los sistemas 802.11b esta la opción de usar el sistema de Fall-Back, el cual permite pasar de un medio de modulación a otro de acuerdo a la calidad de la señal, por ejemplo si el sistema esta comunicado a 11 Mbps y detecta una señal deficiente pasara automáticamente a la modulación a 5,5 Mbps y así hasta llegar a 1 Mbps.

3.3.9 Secuencias HOP (de salto).

Las secuencias HOP están dadas de la (tabla N° 10) vista de canales regulados geográficamente. Existen canales non-overlapping (no sobrepuestos) para los modos de alta transmisión de datos, con baja degradación e interferencia, la sincronización del salto de frecuencia esta coordinado por la subcapa MAC, en la (figura 20) se aprecian los canales no sobrepuestos para USA y Chile. En este primer modo sólo se aprecian 3 canales de comunicación en el ancho de banda es un modo HR (high rate) alta transferencia a 5,5 Mbps y 11 Mbps.

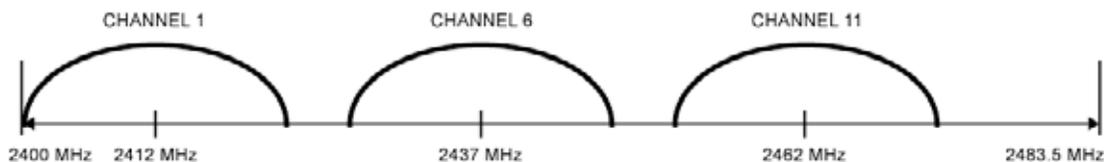


Figura N° 20. Canales no sobrepuestos.

Pero existe una segunda forma de comunicación overlapping (sobreponiendo) los canales para los modos de baja transmisión de datos 1 Mbps y 2 Mbps con 10 MHz de centro de espaciado de frecuencia en modo DSSS, pues solo se usan 2 canales de ± 5 MHz como se aprecia en la (figura 21), donde un canal se encuentra debajo del otro.

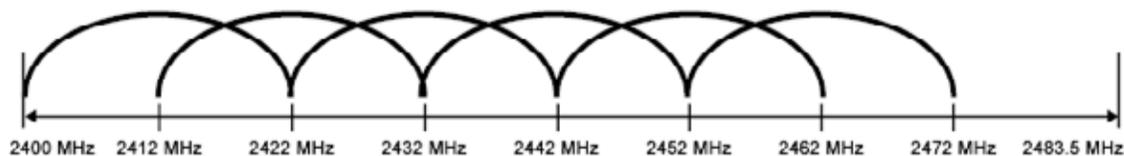


Figura N° 21. Canales sobrepuestos.

Esto se puede resumir en la siguiente tabla (*tabla N° 10*).

Set	Número de canales	HR/DSSS número de canales
1	3	1,6,11
2	6	1,3,5,7,9,11

Tabla N° 10. Configuraciones de canales para sobreposición y no sobreposición.

3.3.10 Parámetros PHY de 802.11b

En la siguiente (tabla 11) podemos ver un resumen de 802.11b a nivel físico.

Transferencia de datos (Mbps)	Código de difusión	Tipo de modulación	Bits de datos por símbolo	Transferencia por símbolos (Mbps)	Delay Spread (dif < 1%)
1	Barker	DBPSK	1	1	600ns.
2	Barker	DQPSK	2	1	400ns.
5,5	CCK	DQPSK	4	1,375	225ns.
11	CCK	DQPSK	8	1,375	65ns.

Tabla N° 11. Parámetros PHY de 802.11b.

Número de portadoras de dato / canal = 1

CCK = complementary codes keying (llave de códigos complementaria)

Delay Spread: es un retardo del ensanchado para sincronización a nivel PHY, de los ciclos Tx y Rx.

CAPITULO IV
CAPA DE ACCESO AL MEDIO (MAC)

CAPITULO IV: CAPA DE ACCESO AL MEDIO (MAC).

4.1 La Capa MAC.

Diseñar un protocolo de acceso al medio para las redes inalámbricas es mucho más complejo que hacerlo para redes cableadas. Ya que deben de tenerse en cuenta las dos topologías de una red inalámbrica:

- ad-hoc: redes peer-to-peer. Varios equipos forman una red de intercambio de información sin necesidad de elementos auxiliares. Este tipo de redes se utilizan en grupos de trabajo, reuniones, conferencias...
- basadas en infraestructura: La red inalámbrica se crea como una extensión a la red existente basada en cable. Los elementos inalámbricos se conectan a la red cableada por medio de un punto de acceso o un PC Bridge, siendo estos los que controlan el tráfico entre las estaciones inalámbricas y las transmisiones entre la red inalámbrica y la red cableada.

Además de los dos tipos de topología diferentes se tiene que tener en cuenta:

- Perturbaciones ambientales (**interferencias**)
- Variaciones en la **potencia** de la señal
- **Conexiones y desconexiones** repentinas en la red
- **Roaming**. Nodos móviles que van pasando de celda en celda.

A pesar de todo ello la norma IEEE 802.11x define una única capa MAC (divida en dos subcapas) para todas las redes físicas. Ayudando a la fabricación en serie de chips.

4.1.1 Mecanismos de Acceso.

Hay de dos tipos:

- Protocolos con arbitraje (FDMA - Frequency Division Multiple Access, TDMA - Time Division Multiple Access)
- Protocolos de contienda (CDMA/CA - Carrier-Sense, Múltiple Access, Collision

Avoidance), CDMA (Code Division, Multiple Access) y el CDMA/CD (detección de colisión).

Aunque también se han diseñado protocolos que son una mezcla de ambos.

4.1.1.1 Protocolos con arbitraje.

La multiplexación en frecuencia (FDM) divide todo el ancho de banda asignado en distintos canales individuales. Es un mecanismo simple que permite el acceso inmediato al canal, pero muy ineficiente para utilizarse en sistemas informáticos, los cuales presentan un comportamiento típico de transmisión de información por breves períodos de tiempo (ráfagas).

Una alternativa a este sería asignar todo el ancho de banda disponible a cada nodo en la red durante un breve intervalo de tiempo de manera cíclica. Este mecanismo, se llama multiplexación en el tiempo (TDM) y requiere mecanismos muy precisos de sincronización entre los nodos participantes para evitar interferencias. Este esquema ha sido utilizado con cierto éxito sobre todo en las redes inalámbricas basadas en infraestructura, donde el punto de acceso puede realizar las funciones de coordinación entre los nodos remotos.

4.1.1.2 Protocolos de acceso por contienda.

- Tienen similitudes al de Ethernet cableada de línea normal 802.3

CSMA (Code-division multiple access = Acceso múltiple por división de tiempo).

Se aplica específicamente a los sistemas de radio de banda esparcida basados en una secuencia PN. En este esquema se asigna una secuencia PN distinta a cada nodo, y todos los nodos pueden conocer el conjunto completo de secuencias PN pertenecientes a los demás nodos. Para comunicarse con otro nodo, el transmisor solo tiene que utilizar la

secuencia PN del destinatario. De esta forma se pueden tener múltiples comunicaciones entre diferentes pares de nodos.

CSMA/CD (Carrier Sense, Multiple Access, Collision Detection).

Como en estos medios de difusión (radio, infrarrojos), no es posible transmitir y recibir al mismo tiempo, la detección de errores no funciona en la forma básica que fue expuesta para las LAN alámbricas. Se diseñó una variación denominada detección de colisiones (peine) para redes inalámbricas. En este esquema, cuando un nodo tiene una trama que transmitir, lo primero que hace es generar una secuencia binaria pseudo-aleatoria corta, llamada peine la cual se añade al preámbulo de la trama. A continuación, el nodo realiza la detección de la portadora si el canal está libre transmite la secuencia del peine. Por cada 1 del peine el nodo transmite una señal durante un intervalo de tiempo corto. Para cada 0 del peine, el nodo cambia a modo de recepción. Si un nodo detecta una señal durante el modo de recepción deja de competir por el canal y espera hasta que los otros nodos hayan transmitido su trama.

La eficiencia del esquema depende del número de bits de la secuencia del peine ya que si dos nodos generan la misma secuencia, se producirá una colisión.

El que más se utiliza es el CSMA/CA (Carrier-Sense, Múltiple Access, Collision Avoidance). Este protocolo evita colisiones en lugar de descubrir una colisión, como el algoritmo usado en la 802.3.

En una red inalámbrica es difícil descubrir colisiones. Es por ello que se utiliza el CSMA/CA y no el CSMA/CD debido a que entre el final y el principio de una transmisión suelen provocarse colisiones en el medio. En CSMA/CA, cuando una estación identifica el fin de una transmisión espera un tiempo aleatorio antes de transmitir su información, disminuyendo así la posibilidad de colisiones.

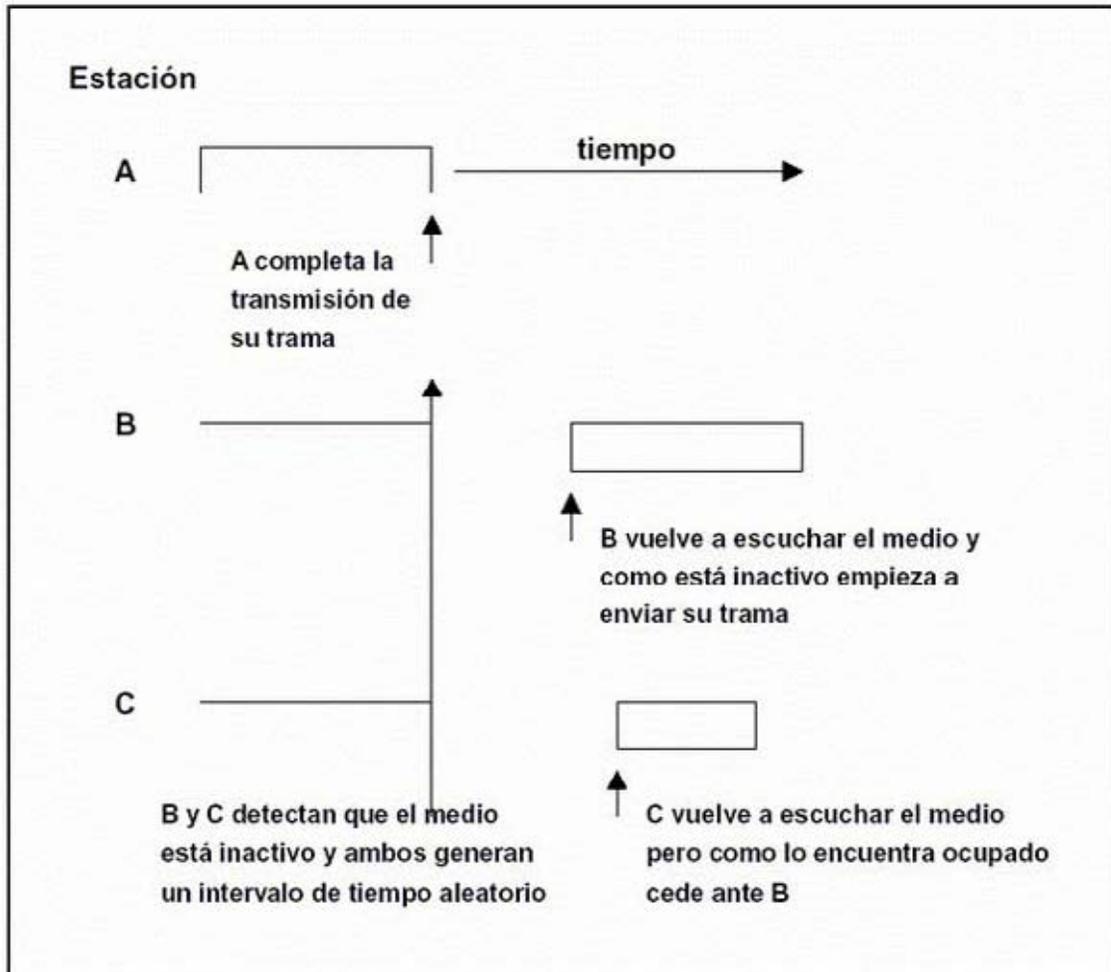


Figura N° 22.

La capa MAC opera junto con la capa física probando la energía sobre el medio de transmisión de datos. La capa física utiliza un algoritmo de estimación de desocupación de canales (CCA) para determinar si el canal está vacío. Esto se cumple midiendo la energía RF de la antena y determinando la fuerza de la señal recibida. Esta señal medida es normalmente conocida como RSSI.

Si la fuerza de la señal recibida está por debajo de un umbral especificado, el canal se considera vacío, y a la capa MAC se le da el estado del canal vacío para la transmisión de los datos. Si la energía RF está por debajo del umbral, las transmisiones de los datos son retrasadas de acuerdo con las reglas protocolares.

El Standard proporciona otra opción CCA que puede estar sola o con la medida RSSI. El sentido de la portadora puede usarse para determinar si el canal está disponible. Esta

técnica es más selectiva ya que verifica que la señal es del mismo tipo de portadora que los transmisores del 802.11.

En comunicaciones inalámbricas, este modelo presenta todavía una deficiencia debida al problema conocido como de la terminal oculta (o nodo escondido)

Un dispositivo inalámbrico puede transmitir con la potencia suficiente para que sea escuchado por un nodo receptor, pero no por otra estación que también desea transmitir y que por tanto no detecta la transmisión. Para resolver este problema, la norma 802.11 ha añadido al protocolo de acceso CSMA/CA un mecanismo de intercambio de mensajes con reconocimiento positivo, al que denomina Reservation-Based Protocol, que es la 2ª subcapa MAC.

Cuando una estación está lista para transmitir, primero envía una solicitud (destino y longitud del mensaje) al punto de acceso (RTS – “request to send”) quien difunde el NAV (Network Allocation Vector) -un tiempo de retardo basado en el tamaño de la trama contenido en la trama RTS de solicitud- a todos los demás nodos para que queden informados de que se va a transmitir (y que por lo tanto no transmitan) y cuál va a ser la duración de la transmisión. Estos nodos dejarán de transmitir durante el tiempo indicado por el NAV más un intervalo extra de backoff (tiempo de retroceso) aleatorio. Si no encuentra problemas, responde con una autorización (CTS – “clear to send”) que permite al solicitante enviar su trama (datos). Si no se recibe la trama CTS, se supone que ocurrió una colisión y los procesos RTS empiezan de nuevo.

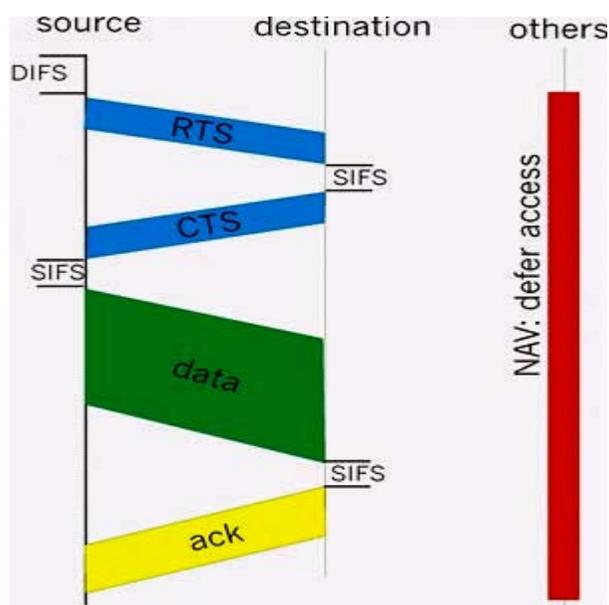


Figura N° 23.

Después de que se recibe la trama de los datos, se devuelve una trama de reconocimiento (ACK - ACKnowledged) notificando al transmisor que se ha recibido correctamente la información (sin colisiones).

Aún así permanece el problema de que las tramas RTS sean enviadas por varias estaciones a la vez, sin embargo estas colisiones son menos dañinas ya que el tiempo de duración de estas tramas es relativamente corto.

Este mismo protocolo también puede utilizarse si no existen dispositivos auxiliares en las redes ad-hoc, en este caso no aparecería la trama NAV.

4.1.2 Seguridad.

En el Standard se dirigen suministros de seguridad como una característica optativa para aquellos afectados por la escucha secreta, es decir, por el "fisgoneo". Incluye dos aspectos básicos: autenticación y privacidad.

La seguridad de los datos se realiza por una compleja técnica de codificación, conocida como **WEP** (Wired Equivalent Privacy Algorithm). WEP se basa en proteger los datos transmitidos en el medio RF, usando clave de 64 bits y el algoritmo de encriptación RC4 (desarrollado por RSA Security Inc.).

La clave se configura en el punto de acceso y en sus estaciones (clientes wireless), de forma que sólo aquellos dispositivos con una clave válida puedan estar asociados a un determinado punto de acceso.

WEP, cuando se habilita, sólo protege la información del paquete de datos y no protege el encabezamiento de la capa física para que otras estaciones en la red puedan escuchar el control de datos necesario para manejar la red. Sin embargo, las otras estaciones no pueden distinguir las partes de datos del paquete. Se utiliza la misma clave de autenticación para encriptar y desencriptar los datos, de forma que solo las estaciones autorizadas puedan traducir correctamente los datos.

4.1.3 Funcionalidad Adicional.

En las LAN inalámbricas la capa de MAC, además de efectuar la función de controlar el acceso al medio, desempeña otras funciones:

- Fragmentación
- Control de flujo
- Manejo de múltiples tasas de transmisión
- Gestión de potencia

En los diferentes tipos de LAN por cable es posible usar tramas grandes gracias a errores de bit bajos bajo (10^{-9} a 10^{-11}). En las LAN inalámbricas, el multicamino y las interferencias pueden elevar considerablemente los valores de errores de bit (10^{-3} a 10^{-5}).

Para poder transmitir eficientemente por estos medios, hay que reducir el tamaño de las tramas. La capa MAC se encarga de fragmentar las tramas en otras más pequeñas antes de transmitir las por el medio inalámbrico, aumentando eso sí, capacidad de proceso del CPU de la unidad. De la misma manera deberá ensamblar las tramas para obtener la trama original antes de entregarla a la capa superior.

También debe cumplir un control de flujo, cada vez que un segmento sea pasado a la capa física, deberá esperar que este sea transmitido antes de enviar el próximo segmento.

La gestión de la potencia se apoya en el nivel MAC para esas aplicaciones que requieren movilidad bajo el funcionamiento de la pila. Se hacen provisiones en el protocolo para que las estaciones portátiles pasen a "modo dormido" durante un intervalo de tiempo definido por la estación base.

4.1.4 Forma general de las tramas a nivel MAC.

A nivel MAC una trama esta compuesta por 3 componentes básicos.

- a) Una cabecera MAC, que abarca el control de tramas, duración, dirección, y secuencia de control de información;

- b) Una trama de largo variable, que contiene información específica de el tipo de trama, existen 3 Control, management (mantenimiento) y Data.
- c) Una secuencia de chequeo de trama FCS (frame check sequence), que contiene un código de redundancia cíclica (CRC) IEEE de 32 Bit.

El Protocolo de unidades de dato MAC (MPDU) o tramas en la subcapa MAC son descritas como una secuencia de campos en un orden específico. En la *figura N° 24* apreciaremos una **trama MAC en forma general**.

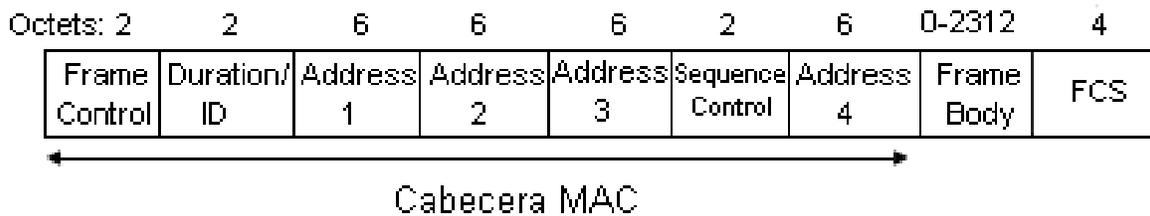


Figura N° 24. Trama MAC.

Podemos apreciar que toda la trama está compuesta de una serie de campos, esta es una trama de Datos, porque también existen tramas de control y mantenimiento. En la *figura N° 25* se indica el nivel de cabecera MAC de la trama, el cual puede variar para control o como para mantenimiento, lo demás es la parte de datos en lo que viaja el paquete IP y CRC.

La cabecera MAC para control puede variar de muchas formas de acuerdo al requerimiento, pero en una forma genérica se aprecia así.

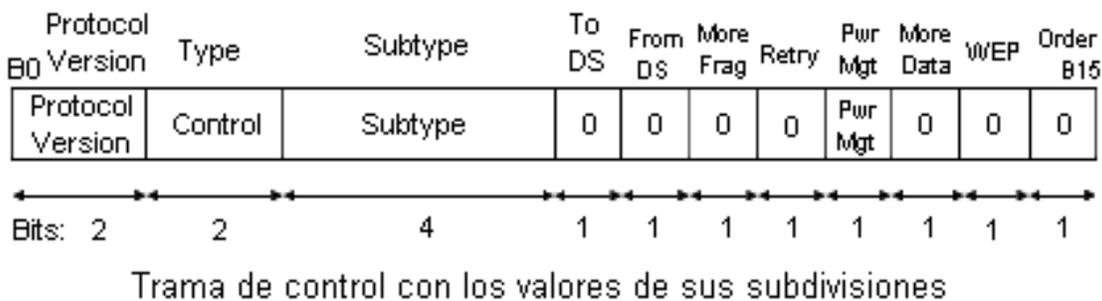


Figura N° 25. Trama de control.

Las tramas de control pueden variar para cumplir las siguientes características.

- Forma de trama Request to send (RTS).
- Forma de trama Clear to send (CTS).
- Forma de trama Acknowledgment (ACK) esto es reconocimiento, recuerden el protocolo MACAW que se vio en la parte teórica.
- Forma de trama Power-Save Poll (PS-Poll).
- Forma de trama CF-end.
- Forma de trama CF-end + CF-ACK.

De esta forma el protocolo se comunica a nivel de enlace, con lo que logra gestionarse en cosas como encriptación, velocidad de transmisión y forma, además se podía regular la potencia de la comunicación.

El protocolo original de 802.11 sólo fue producido por muy pocas empresas y con costos elevados de los equipos, junto con esto los equipos no eran compatibles entre marcas distintas, incluso a veces ocupando el mismo conjunto de chips, además existieron tecnologías mejores en el momento que 802.11 salió como Radio LAN/10, así fácilmente el protocolo 802.11 fue desplazado por 802.11b en el año 2000 con la aparición de los equipos 802.11b.

4.2 Productos Comerciales Existentes.

Los productos se dividen en el tipo de capa física que utilizan. El cual puede ser DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum - Espectro Ensanchado por Secuencia Directa) o FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum - Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia).

Hace tiempo la mayoría de productos eran propietarios y con velocidades de 1,5Mbps y estaban pensados para aplicaciones concretas (inventarios...) y también eran bastante caros.

Pero en el año 1999 apareció un **nuevo estándar 802.11b** y un consorcio de *fabricación Wireless Ethernet Compatibility Alliance (WECA)*.

Esta organización ha establecido un estándar llamado **Wi-Fi** que certifica la

interoperatividad (compatibilidad entre dispositivos de diferentes fabricantes) y otros aspectos (como la facilidad de configuración).

Todo ello ha hecho que muchos fabricantes proporcionen sus soluciones y se acojan a este estándar. Llevando ello a competitividad en este tipo de productos y la consiguiente disminución de precios.

CAPITULO V
ARQUITECTURA 802.11

CAPITULO V: ARQUITECTURA 802.11

5.1 Arquitectura de una red 802.11

5.1.1 *Access Points* (AP, Punto de Acceso) o Estación Base.

Después de las tarjetas inalámbricas, el *Access Point* o AP es probablemente el dispositivo más común en una WLAN. Como lo sugiere el nombre, el *Access Point* provee de un punto de acceso a los clientes a la red. Un AP es un dispositivo half-duplex con inteligencia equivalente a la de un switch Ethernet. En la *Figura N° 26* se muestran AP de distintas marcas y aplicaciones.



Figura N° 26.

Un AP se comunica con sus clientes inalámbricos, con la red alámbrica y con otros *Access Points*. Existen 3 modos en los cuales puede ser configurado un *Access Point* :

- Modo Raíz (*Root*)
- Modo Repetidor (*Repeater*)
- Modo Puente (*Bridge*)

EL modo raíz es usado cuando el *Access Point* se conecta a un *backbone* alámbrico a través de su interfaz alámbrica (usualmente *Ethernet*). En la *Figura N° 27* se presenta un ejemplo de un AP operando en este modo.

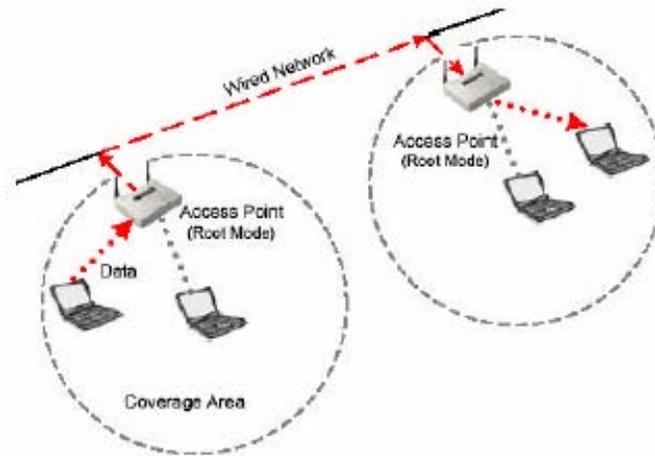


Figura N° 27 Access Point en modo raíz.

En modo repetidor, un *Access Point* tiene la habilidad de proveer un enlace inalámbrico dentro de la red alámbrica. La *Figura N° 28* ilustra lo anterior.

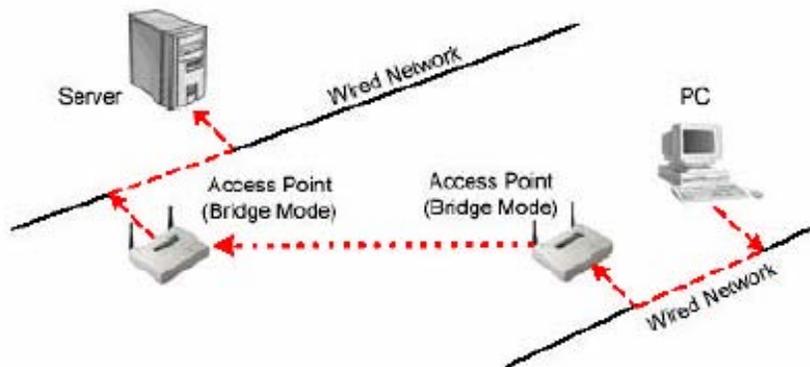


Figura N° 28. Access Point operando en modo repetidor.

Operando como puente, el AP actúa exactamente como un puente inalámbrico; se convierte en puente cuando se configuran de esta manera. Sólo unos pocos *Access Points* en el mercado tienen la funcionalidad de operar como puente, agregando costo al equipo. La *Figura N° 29* ilustra la configuración de un AP en modo puente.

Durante las experiencias, cuando se trabaje en modo infraestructura, el AP será utilizado como puente, es decir, transformando paquetes 802.11 en paquetes Ethernet y viceversa.

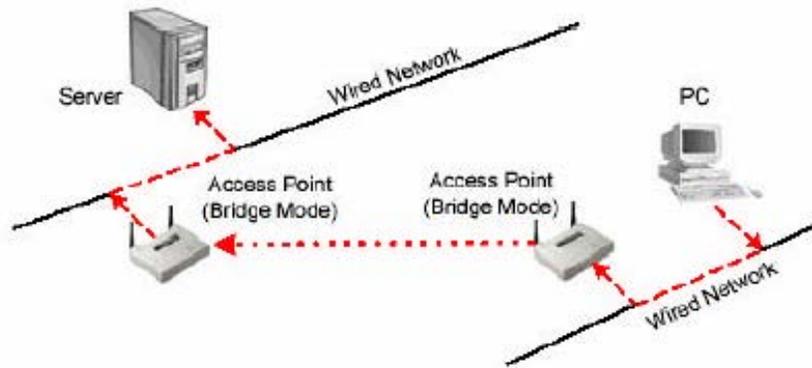


Figura N° 29. AP operando en modo puente.

5.1.2 Localizando una Wireless LAN.

Cuando uno instala, configura y finalmente enciende un dispositivo inalámbrico WLAN, éste automáticamente “escuchará” si es que hay una WLAN dentro de su rango de cobertura. La estación cliente también tratará de descubrir si puede asociarse con esa WLAN. Este proceso es llamado *scanning*. El *scanning* ocurre antes de cualquier otro proceso, debido a que es aquí cuando el cliente “encuentra” la red.

5.1.3 Service Set Identifier (SSID).

El SSID es un valor alfanumérico único usado por WLANs como nombre de la red. Este manejo de nombres es usado para segmentar redes, como una medida rudimentaria de seguridad y en el proceso de asociación a una red. El SSID es enviado en tramas llamadas *beacons*, *probe requests*, *probe responses* y otros tipos de tramas. Un cliente debe configurar el SSID correcto a medida que quiera unirse a una red. El administrador configura el SSID (a veces llamado ESSID) en cada *Access Point* (AP) o Estación Base. El punto más importante sobre un SSID es que debe coincidir exactamente entre *Access Points* y clientes.

5.1.4 Beacons.

Los *Beacons* (abreviación de *beacon management frame*) son tramas cortas que son enviadas desde el *Access Point* hacia las estaciones clientes (modo infraestructura) estación a estación (modo ad hoc) en orden de sincronizar la comunicación en la WLAN. Las tramas *Beacons* cumplen varias funciones, incluyendo las siguientes:

5.1.4.1 Sincronización.

Los *beacons* sincronizan a los clientes con el objetivo de marcar el momento exacto de transmisión. Cuando el cliente recibe el *beacon*, cambia su propio reloj para reflejar el reloj del *Access Point*. Una vez que este cambio es realizado, los dos relojes quedan sincronizados. El *beacon* también contiene el intervalo de *beacons*, el cual informa a las estaciones clientes cuan a menudo esperar los *beacons*.

5.1.4.2 Parámetros de FH o DS.

Los *beacons* contienen información específica relativa a la tecnología de espectro ensanchado que el sistema esta utilizando. Por ejemplo, en sistemas DSSS, el *beacon* contiene la información del canal.

5.1.4.3 Información del SSID.

Las estaciones clientes buscan en los *beacons* el SSID de la red a la cual se quieren conectar. Cuando esta información es encontrada, la estación busca en la dirección MAC de donde fue el *beacon* originado y envía una trama *authentication request* (solicitud de autenticación) esperando asociarse con el *Access Point*. Si una estación está configurada para aceptar cualquier SSID, intentará unirse a la red a través del primer *Access Point* que envíe un *beacon* o de aquel con señal más fuerte, si es que hay múltiples *AccessPoint*.

5.1.4.4 Mapa de Indicación de Tráfico TIM (*Traffic Indication Map*).

El TIM es usado como un indicador de cuales estaciones en modo de ahorro de energía (“durmiendo”) tienen paquetes encolados en el AP. Esta información es pasada en cada *beacon* a todas las estaciones asociadas. Las estaciones sincronizadas encienden sus receptores, escuchan el *beacon*, verifican el TIM, si es que no tienen paquetes en la cola, apagan sus receptores y continúan “durmiendo”.

5.1.4.5 Tasas Soportadas.

En redes inalámbricas, existen varias velocidades soportadas dependiendo del estándar del hardware en uso. Esta información es transportada dentro del *beacon* para informar a las estaciones cuales velocidades son soportadas por el AP.

5.1.5 Conjunto de Servicios (Service Sets).

Un *conjunto de servicio* es un término usado para describir los componentes básicos de una completa red LAN inalámbrica (WLAN). En otras palabras, existen tres formas de configurar una WLAN, y cada una de éstas requiere un conjunto diferente de hardware.

Las tres formas de configuración son:

- Conjunto de Servicio Básico (*Basic Service Set (BSS)*)
- Conjunto de Servicio Extendido (*Extended Service Set (ESS)*)
- Conjunto de Servicio Básico Independiente (*Independent Basic Service Set (IBSS)*)

5.1.5.1 Basic Service Set (BSS).

Cuando un AP es conectado a una red alámbrica y a un conjunto de estaciones inalámbricas, la configuración de red es referida como un conjunto de servicio básico (BSS). Un BSS se constituye sólo por un AP y uno a más clientes inalámbricos, como se muestra en la *Figura N° 30*. Un BSS usa el *modo infraestructura*, un modo que requiere del

uso de un *Access Point* por el cual transite todo el tráfico de la red. No son permitidas las transmisiones directas clientes-clientes.

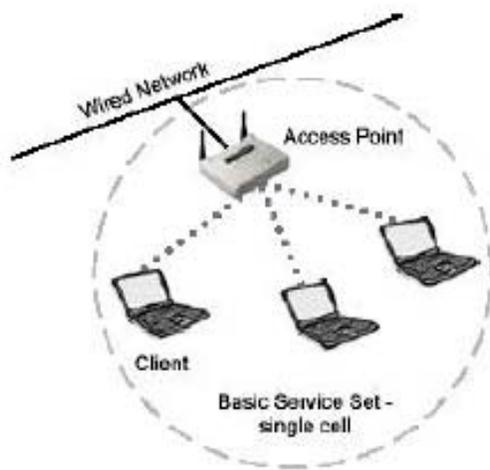


Figura N° 30. Basic Service Set

Cada cliente inalámbrico debe usar el *Access Point* para comunicarse con cualquier otro cliente inalámbrico o con cualquier host de la red alámbrica. El *BSS* cubre sólo una celda, o área de RF (radio frecuencia). Un *BSS* tiene un único SSID.

5.1.5.2 Extended Service Set (ESS).

Un ESS se define como dos o más *BSS* conectados por un sistema de distribución (*distribution system (DS)*), como se muestra en la Figura N° 31. El sistema de distribución puede ser una LAN (alámbrica o inalámbrica), una WAN o cualquier método de conectividad de redes. Un ESS debe tener al menos dos AP operando en modo infraestructura. Al igual que en un *BSS*, todos los paquetes en un ESS deben pasar por uno de los *Access Points*.

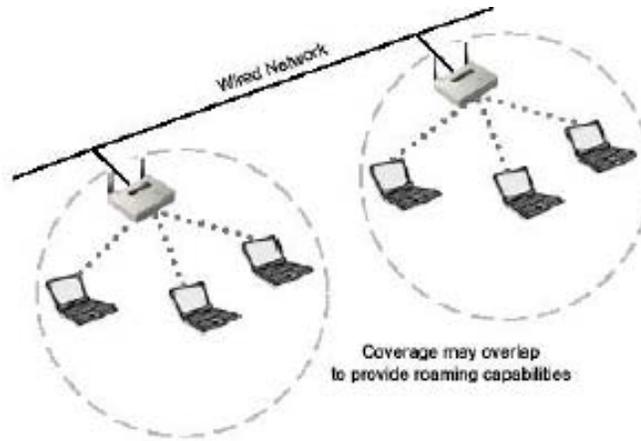


Figura N° 31. Extended Service Set

Otra característica de un ESS, según el estándar 802.11, es que un ESS cubre múltiples celdas, permitiendo realizar *roaming*, no requiriendo que los *BSS* tengan el mismo SSID.

5.1.5.3 Independent Basic Service Set (IBSS).

Un *IBSS* es también conocido como una red *ad hoc* o *peer to peer*. Un *BSSID* no tiene *Access Point* o cualquier otro acceso a un sistema de distribución. Cubre sólo una celda y posee un SSID, como se muestra en la Figura N° 37. El cliente en un *IBSS* alterna la responsabilidad de enviar *beacons* debido a la ausencia de un *Access Point* que realice esta tarea.

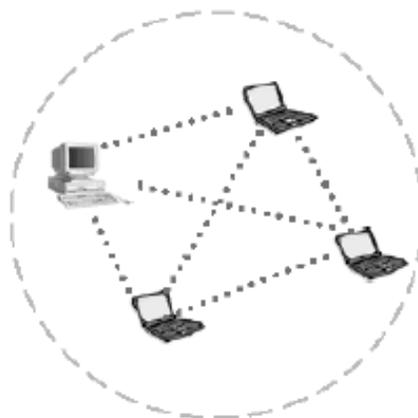


Figura N° 32. IBSS

Para poder transmitir información fuera de un *IBSS*, uno de los clientes en el *IBSS* debe actuar como *gateway* (puerta de enlace) o *router*.

5.1.6 Autenticación y Asociación.

El proceso de conectarse a una *WLAN* consta de dos subprocesos. Estos subprocesos siempre ocurren en el mismo orden y son llamados *autenticación* y *asociación*. Cuando se habla de asociación, se habla de conectividad a nivel de la capa 2, y autenticación corresponde directamente a la tarjeta, no al usuario.

5.1.6.1 Autenticación.

EL primer paso para conectarse a una *WLAN* es la autenticación. Autenticación es el proceso mediante el cual un nodo inalámbrico (PC Card, Cliente USB, etc.) tiene su identidad verificada por la red (usualmente el *Access Point*) a la cual el nodo intenta conectarse. Esta verificación ocurre cuando el *Access Point* comprueba que el cliente es quien dice ser. El *Access Point* responde a un cliente que solicita conexión verificando la identidad del cliente antes de que cualquier conexión ocurra.

El cliente comienza el proceso enviando una trama *authentication request* al AP (en modo infraestructura). El AP aceptará o rechazará esta solicitud, luego notificará a la estación su decisión mediante una trama *authentication response*.

5.1.6.2 Asociación.

Una vez que un cliente ha sido autenticado, luego se asocia con el *Access Point*. Asociado es el estado en el cual un cliente se le permite enviar datos a través del *Access Point*. El proceso de asociación es el siguiente: cuando un cliente desea conectarse, envía una trama *authentication request* al AP y recibe de vuelta un *authentication response*. Después que la autenticación es completada, la estación envía un trama *association request* al AP el cual responde con una trama *association response* permitiendo o rechazando la asociación.

5.1.6.3 Métodos de Autenticación.

El estándar IEEE 802.11 especifica dos métodos de autenticación: Autenticación de Sistema Abierto (*Open System Authentication*) y Autenticación de Clave Compartida (*Shared Key Authentication*). La más simple y también la más segura es la Autenticación de Sistema Abierto.

5.1.6.3.1 Autenticación de Sistema Abierto.

Este es un método de autenticación nula y es especificado por el estándar como el método que por defecto traen implementado los equipos de WLAN. Usando esta forma de autenticación, una estación puede asociarse con cualquier *Access Point* que emplee el mismo método de autenticación, basándose sólo en que el SSID sea el correcto.

5.1.6.3.1.1 Proceso de la Autenticación de Sistema Abierto.

El proceso ocurre como sigue:

1. El cliente realiza una solicitud para asociarse con el *Access Point*.
2. El *Access Point* autentifica al cliente y envía una respuesta positiva, con lo cual el cliente queda asociado (conectado).

Estos pasos se pueden apreciar en la *figura N° 33*.

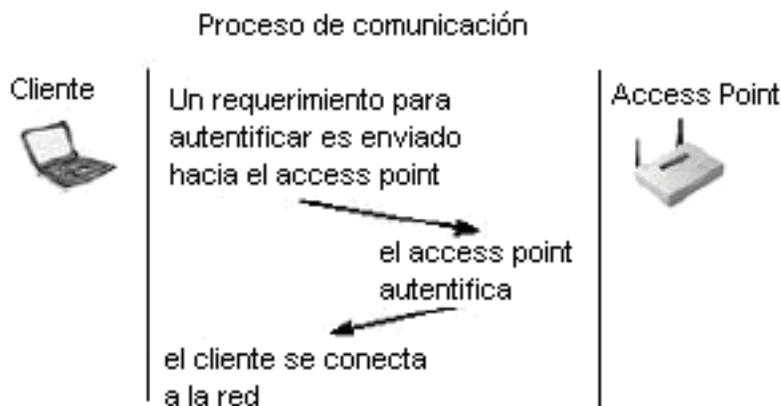


Figura N° 33. Pasos Autenticación de Sistema Abierto

5.1.6.3.2 Autenticación de Clave Compartida.

Este es un método que requiere el uso de WEP. La encriptación WEP usa claves que son ingresadas (usualmente por el administrador) en el cliente y en el *Access Point*.

Los pasos del proceso de autenticación de clave compartida se ilustran en la *figura N° 34*.

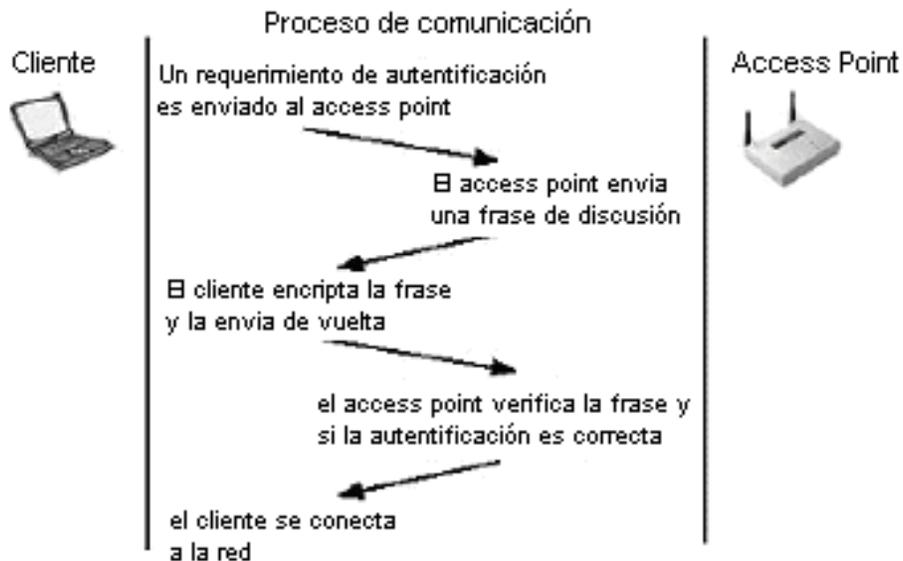


Figura N° 34. Proceso de autenticación de clave compartida.

5.1.7 Notas.

Los equipos mencionados hasta este punto operan bajo la norma IEEE 802.11b (*Wi-Fi*), incluyendo tarjetas, AP. Sólo existe una diferencia a nivel de capa física entre 802.11a, 802.11b, 802.11g, etc.

Ignorando los medios físicos de FHSS e IR, la capa física del 802.11b usa DSSS para transmitir en uno de las frecuencias centrales de los 14 canales ISM (Industrial, Scientific, and Medical) en la banda de los 2.4 GHz. Como muestra la *Tabla N° 11* América permite 11 canales; Europa permite 13. Japón tiene sólo un canal reservado para 802.11, en 2.483 GHz.

Canal	Frecuencia GHz	Américas	Europa	Francia	España	Japón
1	2.412	X	X			
2	2.417	X	X			
3	2.422	X	X			
4	2.427	X	X			
5	2.432	X	X			
6	2.437	X	X			
7	2.442	X	X			
8	2.447	X	X			
9	2.452	X	X			
10	2.457	X	X	X	X	
11	2.462	X	X	X	X	
12	2.467		X	X		
13	2.472		X	X		
14	2.483					X

Tabla N° 11. *Canales 802.11b y países participantes.*

Existen muchos dispositivos que compiten por el espectro de los 2.4 GHz. La mayoría de los equipos que causan interferencia son comunes en ambientes hogareños, como microondas y teléfonos inalámbricos. La viabilidad de una red 802.11b depende de cuántos de estos productos están cerca de los dispositivos de la red.

CAPITULO VI
INTRODUCCIÓN A TEORÍA DE ENLACE

CAPITULO VI: INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE ENLACE.

6.1 Teoría de enlace.

En el presente capítulo se pretende proporcionar un desarrollo sustancial, que permita comprender básicamente el comportamiento de los enlaces punto a punto en la banda ISM, para luego ser capaz de manejar conceptos en la implementación de enlaces.

A continuación se analizará la incidencia de los principales factores meteorológicos y físicos causantes de atenuación en la propagación de enlaces en la banda 2.4Ghz, así como también el Hardware necesario y las medidas técnicas conducentes a la optimización del sistema.

Cabe aclarar que, debido a la gran cantidad de variables en juego, me he visto en la tarea de simplificar o rescatar, de acuerdo al enfoque de este trabajo, los contenidos principales y necesarios para una comprensión más lúdica y eficaz. No se espera establecer con exactitud rigurosa las condiciones de propagación del sistema en todas las circunstancias posibles, por este motivo los resultados propuestos serán solo una aproximación adecuada. Por otra parte no se intentará tampoco un análisis minucioso que requiera grandes conocimientos previos del tema, pues escaparía al alcance de la mayoría de los estudiantes y aficionados. Aun así, las conclusiones permitirán obtener resultados satisfactorios en cuanto a precisión y sencillez operativa.

6.2 Líneas de transmisión en 2.4Ghz.

Se define una línea de transmisión como la ruta por donde viajara la señal desde el trancceptor hacia su antena o vice-versa. En la banda de los 2.4 Ghz, para un perfecto acople y aprovechamiento de la energía que entregue el transmisor hacia su antena, se utiliza generalmente una impedancia característica de 50 ohms en su línea de transmisión que los una. De esto se desprende que todos los componentes que constituyan la línea de transmisión deberán poseer la misma impedancia característica, así por ejemplo, los conectores, el cable coaxial, impedancia característica en antena y trancceptores evitando pérdidas por desacople, el cual puede afectar severamente la etapa de potencia de salida del

transmisor (afectando la vida útil de éste), y a la vez que juega un papel muy importante si es que se quiere alcanzar la máxima eficiencia del enlace.

6.3 La línea de la visual.

Este podría ser el apartado mas importante a la hora de plantear el diseño de un enlace en los 2.4 Ghz. Recordemos que las ondas de microondas, por sus características de propagación, son de una gran direccionalidad, por lo que cualquier obstrucción en su paso las atenúa considerablemente. Debido a esto es que si queremos evaluar en una primera instancia la viabilidad de un enlace, es que se realiza una inspección visual desde uno de los puntos de donde se planea instalar la antena *A*. Así, si a primera vista (o con ayuda de binoculares) se puede localizar el otro punto donde estará la antena *B*, entonces podremos sugerir viabilidad positiva en esta primera instancia, claro que habrá que seguir inspeccionando los siguientes parámetros de transmisión, tales como ganancias y perdidas a fin de realizar el balance final de factibilidad del enlace.

En el caso de que se presentara obstrucción en la línea vista, se tendrá que evaluar la factibilidad del enlace de acuerdo a la eficiencia que se quiera obtener de el. Por ejemplo si la obstrucción fuera un cerro, lomaje o una cadena de edificios etc., la posibilidad al enlace se hace casi nula, donde habría que buscar otras soluciones como por ejemplo instalar repetidores, en tanto que si la obstrucción la presentan una fila de álamos, es muy probable que en otoño e invierno el enlace sea factible atenuándose muy poco, esto debido a que en esa época los árboles se ven desprovistos de las hojas despejando así el camino a las ondas. De la misma manera es muy probable que en la época de hojas el enlace no funcione.

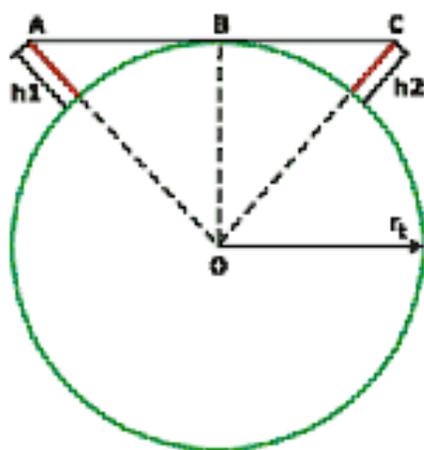
La inspección por tanto de línea vista requiere de un conocimiento previo en cuanto al comportamiento de propagación de las ondas electromagnéticas, en este caso en la banda de los 2.4Ghz.

Por otra parte, y dado que la banda ISM del espectro esta mundialmente liberada para su uso, aunque cada país establece las normas de potencia máxima radiada a fin de mantener *las buenas relaciones* con los otros dispositivos que compiten por el uso de la misma banda. En Chile la norma establece un máximo de 100 mw en la antena, con lo que las grandes distancia posibles de alcanzar con esta tecnología se ven reducidas y si además

la norma establece que la ganancia máxima de antena direccional deberá ser de 16 dbi, en fin, con esto quiero decir que la curvatura de la tierra, se considerara como un factor atenuante importante para los enlaces que sobrepasen los 10 kms de distancia.

6.3.1 Distancia máxima de línea de vista.

En la figura, si la circunferencia verde de radio r_t , representa a la superficie del planeta (geoide) a nivel del mar, se puede calcular, por medio del conocido teorema de Pitágoras, la distancia máxima de línea vista que alcanzaría entre antenas AC. La formula



quedaría así:

$$\overline{AC} = 3568 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Ecuación N° 5

Figura N° 35. Esquema línea vista

6.3.2 Consideraciones adicionales.

Siendo mas realistas, consideremos algunas aproximaciones dado que la formula anterior es para un caso geométrico ideal. El radio de la superficie terrestre es mayor en la línea ecuatorial que en los polos por lo que se considerara un radio promedio de 6367 kms. Otra consideración esta dada por la disminución de la constante dieléctrica del medio debido a la diferencia que pudiera existir en la densidad atmosférica a lo largo del enlace, lo cual hará que también disminuya el índice de refracción (que es proporcional a la raíz cuadrada de la misma).

Esta variación del índice de refracción hace que las ondas de radio sean desviadas desde las zonas de baja constante dieléctrica hacia las zonas de alta constante dieléctrica de forma semejante a lo que produce la ionosfera "curvando" la trayectoria de la señal hacia el suelo. Esto determina que el *horizonte efectivo* para las ondas de radio se encuentre normalmente algo más allá del horizonte real (óptico) y, en término medio, ***todo sucede como si el radio de la tierra fuera aproximadamente un 33% mayor que el radio real*** (digo "en término medio", pues la constante dieléctrica está fuertemente determinada por el vapor de agua presente en la atmósfera y su concentración varía con las condiciones meteorológicas. Cabe destacar que el agua tiene un valor elevado de constante dieléctrica), además la presencia de aire caliente por encima de una capa de aire frío (inversión térmica) agudiza el fenómeno notablemente en algunas oportunidades.

Teniendo en cuenta este efecto podemos re-escribir la ecuación anterior (ecuación N° 5):

$$\sqrt{2r_t} = \sqrt{2 \times 6.367.000m \times 1.33} = 4115m^{1/2}$$

Ecuación N° 6

$$\overline{AC} = d = 4115 \times (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})$$

Ecuación N° 7

Esta es una ecuación que convendrá recordar pues será de importancia en las consideraciones posteriores (todas las dimensiones en metros).

6.4 Relaciones geométricas importantes.

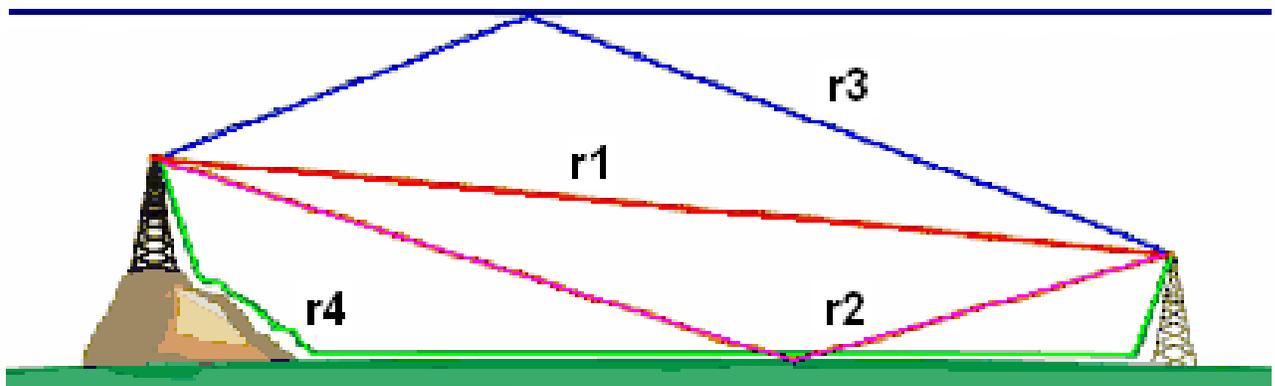


Figura N° 36

De la *figura N° 36*, se describe lo siguiente:

- La onda directa (rayo r1).
- La onda reflejada en la tierra (rayo r2).
- La onda refractada en la ionosfera (rayo r3).
- La onda de superficie (rayo r4).

(La onda directa y la reflejada en tierra se denominan: "La onda espacial"; la onda espacial + la onda de superficie se denominan colectivamente: "La onda terrestre").

De estas cuatro formas principales de propagación y en el espectro que nos interesa, banda 2.4Ghz, se pueden eliminar dos:

- La onda refractada en la ionosfera, pues tal mecanismo no es frecuente debido a que el índice de refracción de la misma es insuficiente para devolver la señal a la tierra.
- La onda de superficie pues las pérdidas en la tierra son muy elevadas a tales frecuencias y la señal es absorbida muy rápidamente.

Por ello solo se recomienda tomar en cuenta lo que sucede con las ondas directa y reflejada en la superficie de la tierra (onda espacial).

6.5 Condiciones del terreno y meteorológicas.

Los árboles, los edificios, tendidos eléctricos, etc. influyen en la recepción de la señal. La señal se refleja en los objetos y llega con retardo de fase a la antena receptora, pudiendo provocar pérdidas de señal. Podemos corregir este efecto desplazando 6cm longitudinalmente hacia delante o hacia atrás la antena receptora (6cm es la mitad de la longitud de onda, es decir, desde un pico hasta un valle de la senoide).

El hielo y la nieve influyen negativamente en las antenas cuando están en contacto directo con éstas. La lluvia suave a normal en sí tiene poco impacto sobre la pérdida por propagación, pero en el caso de las antenas "flat-pannel", puede disminuir su rendimiento si se crea una película de agua en el panel de la antena.

6.6 Distancia entre antenas.

La distancia entre ambas antenas puede calcularse en caso de conocer el resto de factores determinantes. Obviamente y lo mas fácil es usar instrumentación GPS, una vez conocida la distancia que queremos cubrir, se adaptara entonces el resto de materiales a la distancia.

6.7 Pérdida de espacio libre en 2.4 GHz.

La perdida de espacio libre es la pérdida de energía de recorrido de onda en espacio libre (sin obstáculos).

Cuanto mayor sea la distancia entre antenas, obviamente mayor será la pérdida de señal. La distancia máxima puede variar desde varios metros hasta decenas de kilómetros. Es altamente recomendado que haya una línea de visión directa entre las antenas.

Podemos calcular la pérdida de señal por propagación entre antenas con la siguiente fórmula:

$$P_p = 40 + 20 \cdot \text{Log} [d \text{ (mts)}] \quad (\text{Ecuación N}^\circ 8)$$

Donde,

P_p= Pérdida por propagación en dB

d = distancia en metros entre las antenas

Estos valores sólo son válidos para una frecuencia de 2.4 GHz

6.8 Zona de Fresnel.

De la teoría de ondas electromagnéticas se deriva que la propagación de las ondas de radio entre los dos puntos no se propaga en línea recta, sino que debido a consideraciones de dispersión, la propagación se realiza en un área elíptica por encima y debajo de la línea recta del pasaje visual entre los dos puntos a interconectar. Esta zona elíptica se llama la Zona Fresnel. Como consecuencia, las obstrucciones en el paso de la Zona Fresnel deterioran la calidad de la transmisión (caracterizada por la velocidad de

transmisión), como también la reducción de la distancia operacional entre los dos puntos. El estándar de la industria establece como mínimo, para enlaces 802.11b mantener alrededor del 60% de la Zona Fresnel libre de cualquier obstáculo.

La zona Fresnel se puede calcular y debe ser tomada en cuenta cuando se diseña un enlace Inalámbrico que se considere de larga distancia.

Además se debe tomar en consideración la curvatura de la tierra como una de las posibles obstrucciones, es por ello que se recomienda utilizar el 70% o más, en lugar del original 60% de la primera zona de fresnel, a fin de minimizar este efecto.

En la *figura N° 37*, toda la zona que encierra el elipsoide debe permanecer despejada de obstáculos.

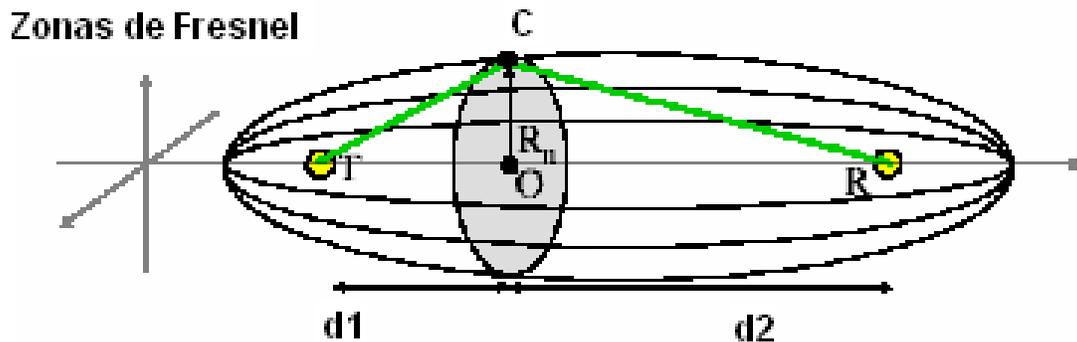


Figura N° 37

Elipsoides cuyas secciones transversales son circunferencias cuyos radios en cada punto cumplen lo siguiente:

$$\overline{TC} + \overline{CR} = \overline{TOR} + n \lambda / 2 \Rightarrow R_n = \sqrt{\frac{n \lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}}$$

en tanto con $n = 1, 2, \dots$

$$R_n = 17.3 \times \sqrt{\frac{n d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

Ecuación N° 9

Donde d_1 y d_2 y λ están dadas en metros, en tanto f está en MHz.

A continuación una tabla resume con los resultados por kilómetro del 70% la primera zona de Fresnel:

kilómetro	0.7 * 1er Zona de Fresnel (mts)
1	3.9
2	5.5
3	6.7
4	7.8
5	8.7
6	9.5
7	10.3
8	11
9	11.7
10	12.3
11	12.9
12	13.5
13	14.1
14	14.6
15	15.1
16	15.6
17	16.1
18	16.6
19	17.1
20	17.5

Tabla N° 12

CAPITULO VII
EQUIPAMIENTO EN WLAN

CAPITULO VII: EQUIPAMIENTO EN WLAN

7.1. Antenas.

La antena es un elemento fundamental de cualquier instalación de radio, siendo tan importante, que de ella depende que la señal llegue hasta donde tenemos provisto con el mayor nivel y calidad que sea posible.

Una antena es un elemento radiante, emite la señal que le inyecta la etapa final de cualquier aparato de radio. En nuestro caso nos vamos a centrar en las antenas para 2.4Ghz que son las usadas para la norma 802.11b y 802.11g.

Una de las formas más convenientes de mejorar nuestros enlaces es usar antenas, pues la gran mayoría de los equipos soportan una antena con un conector SMA, R-SMA, MC o N-TYPE. Por lo general los fabricantes de los equipos producen antenas para mejorar el alcance, se piensa que un par de equipos que poseen alcance de 500 metros en forma nativa sin antenas, pueden llegar a 30 Km. con antenas de 30 dBi cada uno sin amplificación, con lo que la mejora de los equipos gracias a las antenas no es despreciable.

Existen 3 tipos genéricos de antenas para los equipos WLAN.

7.1.1 Parámetros importantes de Antena.

- La *ganancia de antena* está normalmente dada en decibeles isotrópicos [dBi]. Es la ganancia de energía en comparación con una antena isotrópica (antena que difunde energía en todas las direcciones con el mismo poder....la vista teórica en realidad no existe!).
- Algunas antenas tienen su *ganancia expresada en [dBd]*, es la ganancia comparada con una antena dipolo. En este caso se tiene que sumar 2.14 para obtener la ganancia correspondiente en [dBi].
- Cuanta más ganancia tenga la antena mayor es la *direccionalidad* (energía enviada en una dirección preferida).
- Las antenas que vienen con kits WLAN generalmente no tienen mucha ganancia (2.14 dBi).
- La ganancia de antena es la misma para recibir y transmitir

- *Impedancia:* Una antena se tendrá que conectar a un transmisor y deberá radiar el máximo de potencia posible con un mínimo de pérdidas. Se deberá adaptar la antena al transmisor para una máxima transferencia de potencia, que se suele hacer a través de una línea de transmisión. Esta línea también influirá en la adaptación, debiéndose considerar su impedancia característica, atenuación y longitud.
- *Eficiencia:* Relacionado con la impedancia de la antena tenemos la eficiencia de radiación y la eficiencia de reflexión. Estas dos eficiencias nos indicarán una, cuanto de buena es una antena emitiendo señal, y otra, cuanto de bien está adaptada una antena a una línea de transmisión.
- *Ancho de Banda de la Antena:* El ancho de banda de la antena se define como el rango de frecuencias sobre las cuales la operación de la antena es "satisfactoria". Esto, por lo general, se toma entre los puntos de media potencia, pero a veces se refiere a las variaciones en la impedancia de entrada de la antena.

7.1.2 Tipos de antena.

Existen 3 tipos genéricos de antenas para los equipos WLAN

7.1.2.1. Antenas direccionales.

Estas antenas están destinadas a enlaces punto a punto y son ideales para los enlaces Bridge point-to-point o point-to-multipoint, estas antenas son generalmente parabólicas, o yagi que generalmente están ocultas dentro de un tubo de PVC y son las antenas más poderosas en ganancia para los equipos WLAN.

En esta línea los principales modelos de antenas son:

7.1.2.1.1 Antena direccional con reflector parabólico circular.

La *figura N° 38* es la típica antena para establecer enlaces punto a punto o para conectar a un nodo. Se caracterizan por su alta ganancia, que va desde unos discretos 15dBi, llegando en los modelos superiores hasta los 30dBi. Cuanta más alta es la ganancia de este tipo de antenas, más alta es su direccionalidad, ya que se reduce muchísimo el ángulo en el que irradian la señal, llegando a ser tan estrechos, como en este caso, a 5.3° de apertura.



Figura N° 38.

Podemos ver el diagrama polar de esta antena de 30 dBi en el plano horizontal, y vertical donde se aprecia la gran direccionalidad.

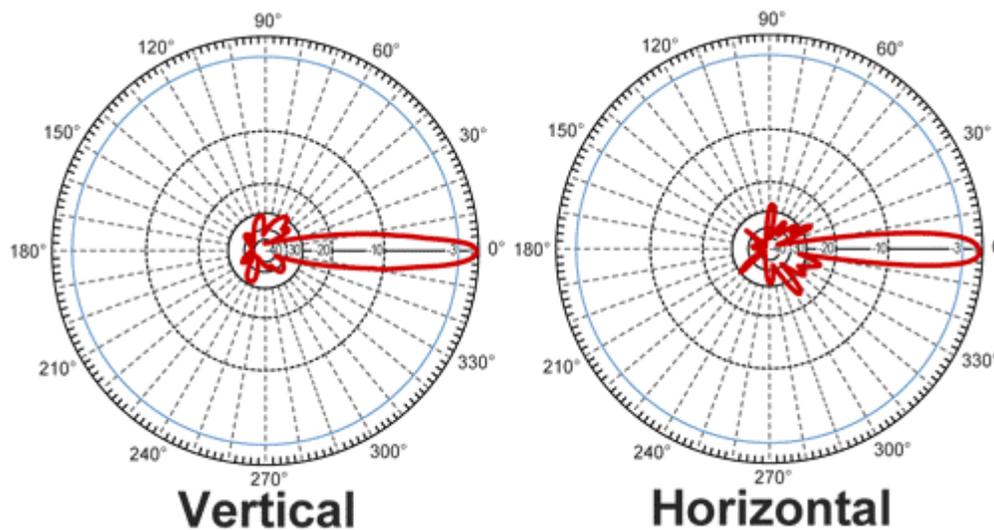


Figura N° 39. Diagrama polar de una antena de 30 dBi en el plano horizontal y vertical. Esta antena parabólica es ideal para la interconexión y mide 1.5 m. de diámetro. El modelo de 30 dBi cuesta aproximadamente U\$ 270 de la empresa Hyperlink.

7.1.2.1.2 Antena Direccional tipo Flat Patch

Con estas antenas (*figura N° 40.2 y 41.1*), se consigue crear pequeñas zonas de cobertura, tanto como recintos, estaciones de metro y similares, consiguiendo con varias de ellas

establecer 'células' (como en telefonía móvil). Otra utilidad puede darse para sustituir una antena omnidireccional, tras la cual pudiera encontrarse un edificio u otra estructura que impidiera que la señal se propagase, poniendo varias de ellas para cubrir la zona deseada y no desperdiciar señal. A esta unión de antenas se las llama 'Array'. Normalmente la anchura del haz que irradian estas antenas es de 30° tanto en vertical como en horizontal.

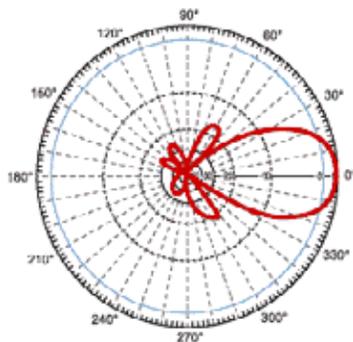
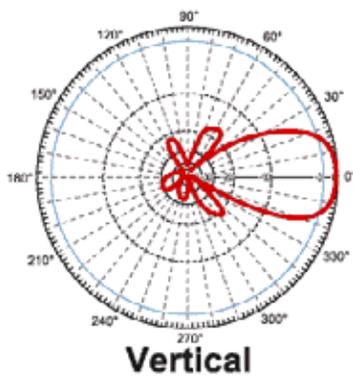


Figura N° 40.1



Figura N° 40.2



Figura N° 41.1

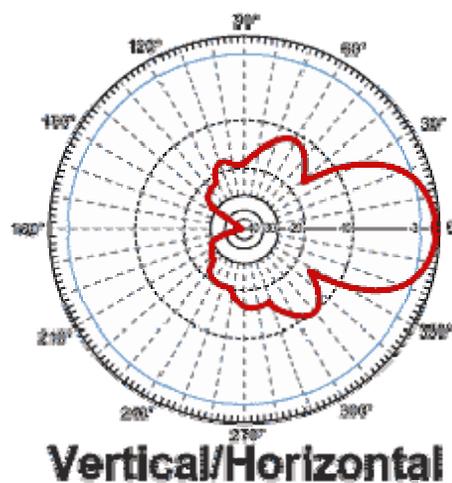


Figura N° 41.2

7.1.2.1.3 Antena Direccional tipo Yagi:

Al igual que el modelo anterior este modelo (*figura N° 42*), es para la intemperie pero es una antena Yagi de menor ganancia, 14 dBi con un largo que va desde los 12 cm. a 46 cm. pero también lo producen algunas empresas en 18 dBi. Y van desde los 30° a 60° de apertura. El modelo de 14 dBi cuesta cerca de U\$ 53 en la empresa Hyperlink.

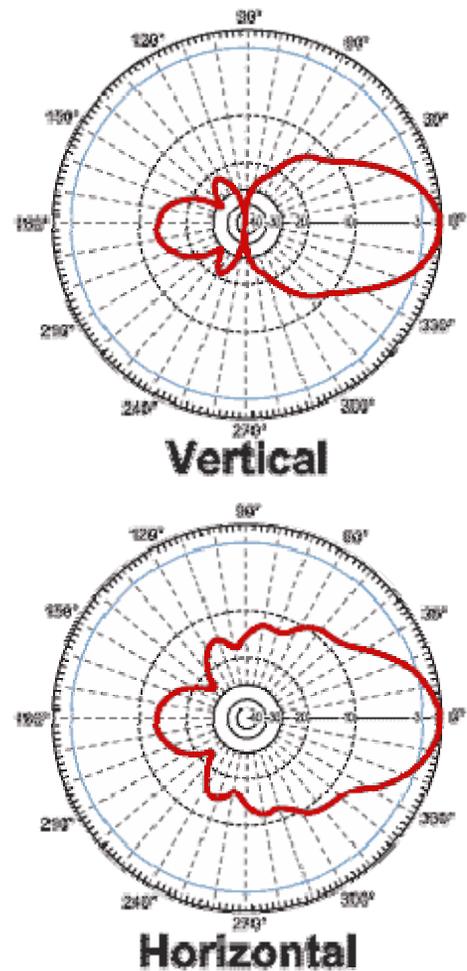


Figura N° 41. Diagrama polar de antena yagi.

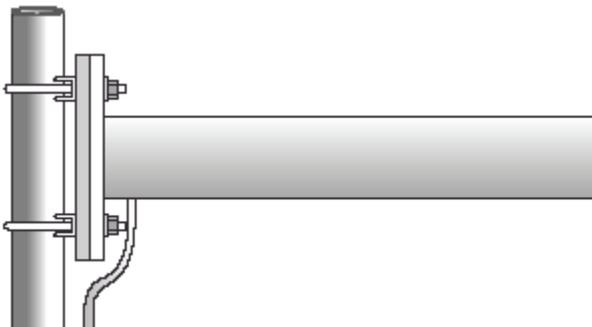


Figura N° 42. Antena Yagi

7.1.2.2 Antenas direccionales de Angulo amplio.

Estos modelos (*figura 43*) se producen para mejorar la señal de un Access Point que deba cubrir un gran lugar como una bodega o una biblioteca, se producen modelos de 180°, 120° y 90° por lo general, el diagrama polar (*figura N° 44*) nos muestra un plano horizontal de una antena de 12 dBi de 125°.

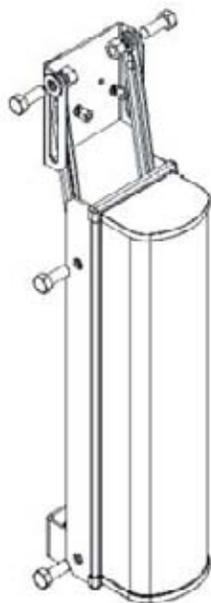
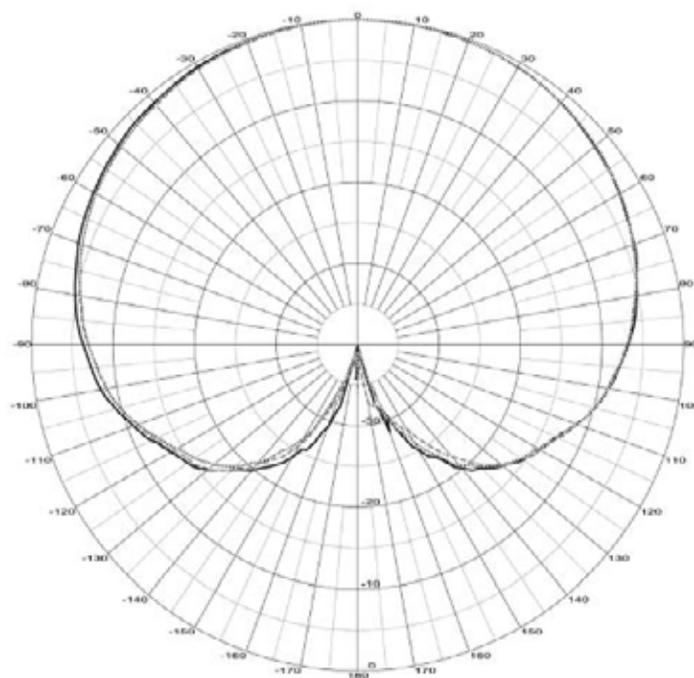


Figura N° 43. Antena omnidireccional de ángulo amplio



Frequency List
Freq: 2.400 GHz ———
Freq: 2.441 GHz - - - -
Freq: 2.500 GHz - - - -

Figura N° 44. Diagrama polar de una antena de 12 dBi en el plano horizontal de 125°.

Este modelo es para la intemperie y es el del diagrama de la *figura N° 43*, pero existen para oficinas y espacios más grandes en interiores, su tamaño es 181x54x76 cm. Y es parecido a las antenas usadas en telefonía celular y el producto comercial llamado Will, existen modelos de hasta 20 dBi; pero el ángulo de su irradiación varía. Además existen arreglos de este tipo de antenas para radiar tal cual lo hiciera una antena del tipo omnidireccional como es el caso de la *figura N° 43.1* y su respectivo diagrama polar en la *figura N° 44.1*.

Figura N° 43.1

Arreglo de antenas direccionales de ángulo amplio, la que radia tal cual fuera una antena omnidireccional cuyo ángulo, en este caso es de 120° horizontal individual, y 6.5° de apertura vertical individual con 17 dbi de ganancia y que además de sus 14 kg total posee 99 cm de largo por 16 cm de ancho aprox. en cada elemento radiante o también llamada "celda"

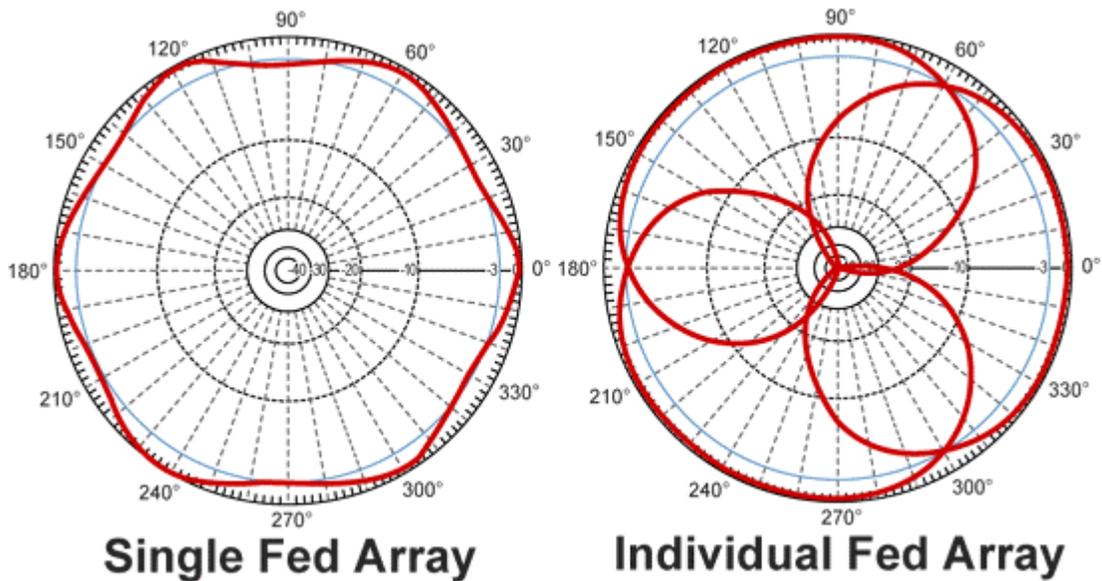


Figura N° 44.1

7.1.2.3 Antenas omni-direccionales.



Estos modelos son los de más baja ganancia con 15 dBi máximo (figura N° 45), se producen para Access Point y equipos clientes que pueden ser de 3 dBi, algunos Access Point traen antenas incorporadas de 2 dBi por lo que conviene analizar los equipos que se posee antes de hacer un upgrade de antena. El diagrama polar (figura N° 46) horizontal se presenta obviamente, circular y casi perfecto, en tanto en el diagrama vertical se aprecian los 8° de apertura. Los equipos para los PC clientes son de hasta 5 dBi y los demás para los AP pueden llegar a 15 dBi que es para interiores o exteriores.

Esta es la antena de 15 dBi de 1.03 m. de largo para exteriores, con un diámetro de 2", aunque existen modelos más delgados de 2 cm. de diámetro pero de largos similares, que son ideales para soportar el viento. El modelo de 15 dBi cuesta U\$ 90 aproximadamente en Hyperlink.

Figura N° 45

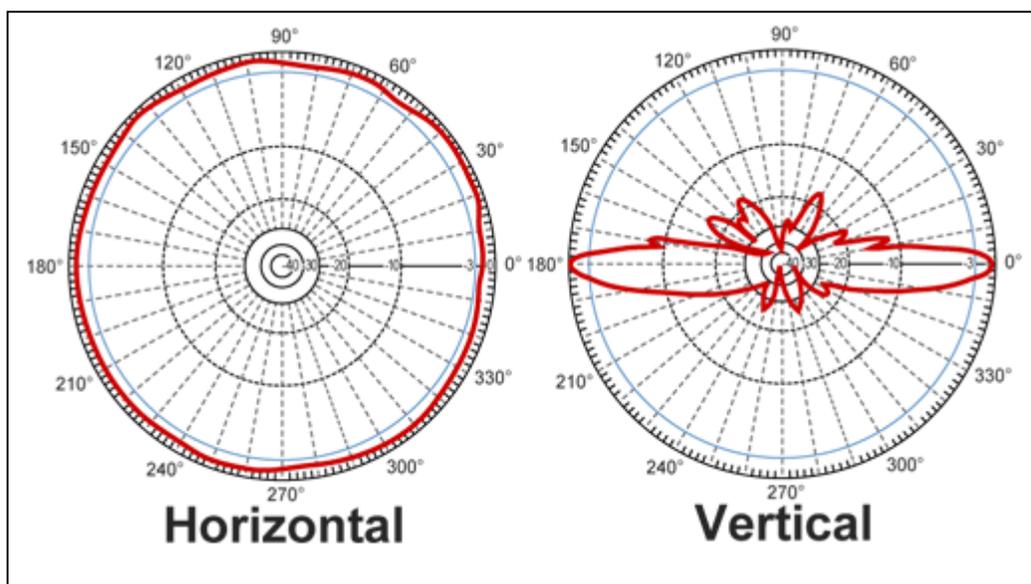


Figura N° 46.Diagrama polar de Antena Omni-Direccional para exteriores



Este es un pequeño modelo de solo U\$ 22 que solo mide 23x2,5x1 cm. y con una base de 7 cm. de diámetro, con un peso de 150 gramos, pero con una ganancia de solo 3 dBi, según la empresa que lo fabrica mejora la recepción en un 30%, existen equipos similares de estas antenas de muchas empresas, son el tipo de antenas más comunes.

Figura N° 47. Antena Omni-Direccional para equipos clientes.

Para referencia los diagramas son de Hyperlink, pero los datos de los modelos son de Cisco, Proxim-Orinoco. Existen tablas como las de Proxim para calcular distancias de alcance de las antenas, pero lo mejor para cálculos es una planilla Excel llamada **Outdoor Bridge Range Calculation Utility** en que están todos los valores para los equipos Cisco, pero se puede adaptar valores a otros equipos, otras empresas por lo general también presentan tablas de alcance.

7.2 Cables y conectores.

Cuanto mejores sean todo el conjunto cable-conectores, menor pérdida de señal habrá entre la tarjeta y la antena. Para ello hemos de elegir el cable adecuado, longitud oportuna y conectores óptimos.

7.2.1 Cable coaxial.

El cable coaxial es uno de los factores más importantes a la hora de decidir el tipo de montaje que se va a realizar. El coaxial deberá recorrer desde la antena (colocada habitualmente en el exterior del edificio o torre y en el punto más alto de este) hasta la ubicación del PC o del Access Point (normalmente junto a su antena en el exterior del edificio), según la configuración del enlace que se quiera.



Figura N° 48. Distintos tipos de coaxial.

El cable coaxial (*figura N° 49*) está formado por un conductor central aislado con una manga de aluminio, rodeado por un blindaje de malla de aluminio. En frecuencias de operación relativamente altas, como en el caso de la 802.11b a 2.4Ghz por ejemplo, el blindaje proporciona una excelente protección contra las interferencias externas; sin embargo, a frecuencias de operación bajas, el uso de la protección no justifica su costo. El blindaje del cable coaxial está unido a tierra para proteger la trayectoria de la transmisión del ruido eléctrico.

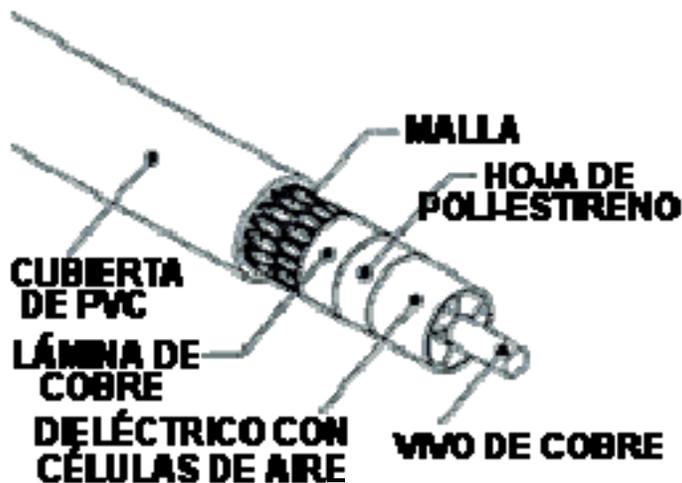


Figura N° 49.

7.2.1.1 Características del cable coaxial.

Las características del cable coaxial se determinan con base en sus propiedades eléctricas como son: la **conductancia del cable**, la **constante dieléctrica en el aislante**, así como por las propiedades físicas, tales como: el **diámetro del cable**, la **impedancia característica** y la **constante de propagación**.

Además presenta las siguientes características:

El cable coaxial tiene sólo un conductor central, rodeado por un aislante de PVC, que a su vez está protegido (en algunos modelos) por una manga de aluminio y un blindaje (funda de malla de aluminio).

- El conductor central, la manga de aluminio y el blindaje comparten el mismo eje geométrico y, por tanto, son coaxiales entre sí.
- El cable coaxial se clasifica no sólo por su calibre, sino también por su impedancia característica (medida en ohms), el cual es un parámetro muy importante en la implementación de un enlace, además se utiliza cable coaxial de diferente impedancia para varios fines.

7.2.1.1.1 Consideraciones.

Debemos tener en cuenta:

- Cuanto más largo sea el cable coaxial, mayor será la pérdida de señal.

La calidad del cable afecta a la pérdida de señal / metro. Podríamos decir que:

- Cable de menor pérdida = cable más grueso y rígido = cable más caro.
- No existe longitud máxima para el cable coaxial, pero a mayor longitud, mayor pérdida.

A continuación, en la *tabla N° 13* se muestra la relación entre modelos de cables mas usados en 802.11b (provenientes del fabricante TimesMicrowaves) y pérdida de señal / metro longitudinal a una frecuencia de 2.4 GHz:

COAXIAL	OHM	Velocidad de propagación Factor	Pérdida en Db/100 mt a 2.4 Ghz	Diámetro en mm
RG-8	50	0.66	52	10.30
RG-58	50	0.66	83	5
RG-213	50	0.66	41	10.30
LMR-195	50	0.80	62	4.95
LMR-200	50	0.83	54.2	4.95
LMR-240	50	0.84	41.5	6.1
LMR-400	50	0.85	21.7	10.29
LMR-600	50	0.87	14.2	14.99
LMR-900	50	0.76	9.58	22.1
LMR-1200	50	0.88	7.2	30.48
LMR-1700	50	0.89	5.51	42.42

Tabla N° 13.

Cada fabricante de cable coaxial adhiere a un mismo tipo de cable ciertos caracteres o siglas a su nomenclatura para especificar de esta manera las distintas aplicaciones de acuerdo a los materiales del que esta constituido, por ejemplo, algunos fabricantes denotan la capacidad del cable de soportar condiciones medioambientales adversas como el agua, temperaturas elevadas, radiaciones, tensión mecánica, etc., etc.

Por ello a la hora de decidir que cable usar, se debe tomar muy en consideración las condiciones físicas en donde queremos usarlo, generalmente los proveedores y fabricantes poseen mucha documentación respecto de sus productos.

7.2.1.1.2 Velocidad de propagación.

Velocidad de propagación de la señal en el cable es la velocidad a la que se propagaría la onda por el cable. Esta depende de la frecuencia de la señal y de la atenuación

que pudiera inducir el medio por donde se propague como en este caso por el cable coaxial. Así cada fabricante establece un factor de velocidad para cada tipo de coaxial.

7.2.1.1.3 Propiedades constantes.

- Aunque no está libre de ruido, puede operar en entornos eléctricamente ruidosos.
- Posee una alta inmunidad a interferencias.
- Cubre una mayor distancia para la transmisión de la señal.

7.2.1.1.4 Pérdidas de señal.

Las líneas de transmisión frecuentemente se consideran sin pérdidas; sin embargo, hay varias formas en que la potencia de transmisión se pierde, entre éstas están: la pérdida a través del conductor, pérdida por radiación, pérdida por calentamiento del dieléctrico y pérdida por acoplamiento.

7.2.1.1.5 Pérdidas del conductor.

Cuando una corriente fluye a través de un cable que tiene una resistencia finita, se produce una pérdida de potencia inherente e inevitable debido a que la resistencia aumenta a lo largo del cable, la pérdida en el conductor es directamente proporcional a su longitud. Además la pérdida en el conductor depende también de la frecuencia que maneje dicho conductor.

7.2.1.1.6 Pérdida por radiación.

Si la separación entre los conductores en varias líneas de transmisión es una fracción apreciable de una longitud de onda, los campos electrostáticos y electromagnéticos que rodean al conductor hacen que la línea actúe como antena y que transfiera energía a cualquier material conductor cercano. La cantidad de energía difundida depende del material dieléctrico, los espacios del conductor y la longitud de la línea. Las pérdidas por

radiación se reducen si protegemos adecuadamente el cable; por lo tanto, los cables coaxiales tienen menos pérdidas por radiación que las líneas de dos cables paralelos.

7.2.1.1.7 Pérdida por calentamiento del dieléctrico.

Una diferencia de potencial entre dos conductores de una línea de transmisión causa la pérdida por calentamiento del dieléctrico. El calor es una forma de energía y tiene que tomarse de la energía que se propaga a lo largo de la línea. Para líneas dieléctricas de aire, la pérdida de calor es despreciable; sin embargo, para líneas sólidas se incrementa la pérdida por calentamiento del dieléctrico con la frecuencia.

7.2.1.1.8 Pérdida por acoplamiento.

La pérdida por acoplamiento ocurre cada vez que se hace una conexión de una línea de transmisión, o cuando las líneas de transmisión son interrumpidas por un dispositivo de interconexión; es decir, que se unen materiales diferentes, estas discontinuidades tienden a calentarse, a radiar energía, y a disipar potencia. En general, la pérdida de señal es provocada por fallas en la instalación del cableado, por la calidad del cable o por la mala instalación de los conectores empleados, en otros casos puede ser por el exceso de distancia en el tendido del cableado.

Se considera dispositivo de conexión a los conectores acopladores o barriles.

7.2.2 Longitud y calidad del pigtail.

El pigtail (*figura N° 50*) es un latiguillo de cable coaxial flexible que en un extremo tiene un tipo de conector que irá conectado a la tarjeta inalámbrica o equipo AP (el tipo de conector depende del modelo de la tarjeta o AP) y en el otro extremo tiene un conector al cual conectaremos el cable coaxial. Este conector suele ser de tipo N.



Figura N° 50. Pigtail R-SMA/N-Type (macho-macho)

Cuanto más corto y de más calidad sea el pigtail, menor será la pérdida de señal. Entiéndase por calidad, al material de construcción tanto de los conectores como del cable coaxial, mejor calidad siempre será sinónimo de menor atenuación. El pigtail podemos comprarlo hecho o bien hacernos uno a medida. Se aconseja que en ningún caso el pigtail supere los 2 metros de longitud, si bien unos 20cm pueden ser suficientes, dado las pérdidas que implica el mayor largo de este.

7.3 Conectores.



Figura N° 51

En materia de conectores, existen muchos tipos para cable coaxial, y si nos referimos a cable coaxial para la banda 2.4GHz se puede decir que los conectores que mas conviene y el mas usado habitualmente en la gama profesional sea el de tipo N.

En el tipo N existen modelos para distintas aplicaciones así como para cable coaxial de distinto diámetro. Los hay con o sin polaridad reversa, para unión volante, de panel, etc., en sus categorías macho o hembra.

El de la *figura N° 51* es un conector tipo N macho para unión volante, sirve para los siguientes cables coaxiales; RG8, WBC400, LMR400, Belden 9913, 7810

El de la derecha (*Figura N° 52*), corresponde a un conector tipo N hembra Panel y compatible con los siguientes cables coaxiales: RG58/141/142, Hyperlink CA195RW, WBC195, LMR195, Belden 8240/8219.



Figura N° 52



Figura N° 53.

A la izquierda (*figura N° 53*) se aprecia un conector tipo N modelo Crimp de ángulo recto y compatible con los siguientes cables coaxiales; RG58/141/142, Hyperlink CA195RW, WBC/LMR195, Belden 8240/8219

Sin duda que existen varios otros tipos conectores como los TNC, BNC, por nombrar los más conocidos y que pueden ser utilizados en la implementación de radioenlaces en 2.4 GHz, pero no puedo dejar de nombrar a los del tipo SMA en sus modalidades de polaridad normal

y reversa. Este último tipo de conector es el que mayoritariamente implementan los fabricantes de equipos wireless en la gama no profesional. Dicho conector es mas pequeño que un tipo N dado que estos equipos generalmente operan con mucho menos potencia que uno profesional por lo que están pensados para redes indoor. Además de su bajo coste,

estos conectores poseen las mismas características de impedancia y atenuación que los del tipo N.

A continuación algunos modelos de conectores coaxiales del tipo SMA



Figura N° 54. Conector SMA macho con polaridad reversa.

Figura N° 55. Conector SMA hembra tipo Panel de polaridad normal



Figura N° 56. Conector SMA hembra volante con polaridad reversa

Existen también, conectores denominados adaptadores, en el sentido que sirven para adaptar de un tipo de conector a otro, en consecuencia con estos adaptadores se puede pasar de un cable de cierto diámetro a otro en una misma línea de transmisión. Estos adaptadores son usados generalmente para unir los llamados “pigtail” o cables coaxiales cortos y flexibles a un cable de menores pérdidas y que por lo normal es mucho más rígido y de diámetro superior. Evitando de esta forma la unión directa del cable rígido y de diámetro mayor a un equipo de conector tipo SMA pequeño y para cables de diámetro menor.

A continuación el esquema de algunos de estos adaptadores:



Figura N° 57. Adaptador tipo N hembra-hembra de polaridad normal, para cables del tipo RG-8 y LMR-400

A la derecha, (*figura N° 57*), un adaptador macho tipo N-macho SMA con polaridad normal, para unir cable del tipo LMR-400 y LMR195 por ejemplo.



Figura N° 57



Figura N° 58

A la izquierda (*figura N° 58*), un adaptador tipo N macho-macho con polaridad normal o también llamado por su forma como “adaptador barril”.

Para referencias, todos los conectores anteriores, corresponden al fabricante Hyperlink, el cual especifica una impedancia característica de 50 ohm, atenuación máxima de 0.2 db para un rango de

frecuencias de hasta 11 Ghz

CAPITULO VIII
EQUIPOS EN 802.11b

CAPITULO VIII: EQUIPOS EN 802.11b

8.1 Hardware.

Según las necesidades del terreno, los edificios donde se vaya a realizar la instalación, el clima preponderante, el presupuesto disponible, etc., debemos elegir el hardware adecuado. No es lo mismo establecer un enlace desde una habitación a otra en un mismo edificio que establecer un enlace desde un edificio a otro situado a varios kilómetros, como es el caso de este análisis.

8.2 Elegir entre tarjeta o AP.

En principio, la opción más barata casi siempre es una tarjeta o adaptador wireless, sea tipo PCMCIA, PCI o USB. Las tarjetas son más baratas pero presentan el inconveniente de que tienen que estar unidas físicamente a un PC. Los adaptadores USB también han de estar unidas a un PC a través de un cable USB el cual también tiene una longitud máxima determinada.

Los AP o Access Point, sin embargo, son aparatos independientes capaces de actuar por si solos si están debidamente configurados. Los AP suelen tener una salida ethernet la cual enlazaremos con nuestra red de cable o con nuestro equipo directamente, con lo cual no dependen de un PC para funcionar.

Se recuerda que una red ethernet establece como largo máximo para interconexión vía cable UTP, aproximadamente 100 mts.

Si la distancia entre el PC y la antena es corta, merece la pena adquirir una tarjeta. Sin embargo, si la distancia entre el PC y la antena es larga, el cable coaxial debe de ser de gran calidad y por tanto muy caro, además de largo. Para cubrir esas largas distancias disponemos de la posibilidad de conectar un AP situado en un lugar cercano a la antena, aunque sea en el exterior o a la intemperie (existen modelos diseñados específicamente para eso) y conectar el AP al PC a través de cable UTP, el cual es mucho más barato. Si tomamos esta opción, también se nos plantea la problemática de la alimentación

del AP. Para no tener que realizar una instalación eléctrica adicional para el AP, existe la opción de utilizar PoE, Power over Ethernet, lo que es lo mismo “energía sobre ethernet”, lo que consiste en aprovechar el cable UTP tanto para datos como para tensión eléctrica. Existen modelos de AP provistos de esta capacidad.

8.3 Potencia de transmisión en equipos.

En cuanto a potencia de transmisión, esta depende del equipo que haga de transmisor y si se le asocia o no un amplificador a su salida.

Según la potencia de transmisión de las tarjetas y AP, podemos clasificarlas en dos tipos generales:

- 31 mW de potencia de transmisión (aprox. 15 dBm)
- 100 mW de potencia de transmisión (aprox. 20 dBm)

Aunque en el mercado existen tarjetas de hasta 200 mW, así como de 60 mW, se le pueden adicionar amplificadores llegando a una potencia de salida de hasta 10 watts

Cuanto mayor sea la potencia de transmisión, mayor será el alcance del enlace, siempre teniendo en cuenta los demás factores condicionantes.

Como transmisor están los AP, pero dependiendo de la envergadura del enlace, como transmisor se podría utilizar un PC dotado de tarjetas inalámbricas con lo cual se puede aprovechar la capacidad de procesamiento para por ejemplo correr aplicaciones específicas de ruteo que complementado a los transmisores inalámbricos podrían optimizar el tráfico de una WLAN en configuraciones del tipo Back-Bone (espalda con espalda), etc.

Los fabricantes de AP o adaptadores inalámbricos especifican la medida de potencia de sus equipos en Watt. Para realizar cálculos es conveniente llevar estas medidas a decibeles, he aquí una fórmula de conversión para tal caso:

$$\text{dBm} = 10 * \log (\text{energía en miliwatts} / 1 \text{ miliwatt}). \quad \text{Véase anexo A “decibeles”}$$

8.3.1 Potencia necesaria.

Es fácil: cuanta más potencia, mejor. Pero no conviene pasarse. Aunque la diferencia en mW es grande entre los dos tipos de tarjeta más comunes (31mW

vs. 100mW, lo cual es casi el triple), la diferencia equivalente en dBm no es tan abismal (15dBm vs. 20dBm). Por ello recurriremos más tarde a la fórmula para calcular si nos es suficiente con tarjetas de 31mW.

8.4 Sensibilidad de receptor.

Este parámetro está definido por el fabricante del equipo y corresponde al nivel de señal mínimo que es capaz de recibir. Este valor está en torno a los -82 dbm. Sin embargo, al estar instalados uno de estos equipos en ciudades, se deberá considerar como sensibilidad práctica del receptor el nivel de ruido eléctrico medido específicamente para cada caso.

Si la energía de señal recibida es más baja que la sensibilidad mínima del receptor, el mecanismo auto fall-back hará decrementar la velocidad máxima de transmisión y a su vez aumentará la sensibilidad del receptor, para de este modo permitir una mejor eficiencia a tasas más bajas durante la transmisión.

A continuación en la *tabla N° 14*, algunos valores típicos de sensibilidad de receptor:

Equipo	Marca	Modelo	Tipo	11 Mbits	5.5 Mbits	2 Mbits	1 Mbits
Tarjeta	Orinoco	Silver/G	PCMCIA	-82 dbm	-87 dbm	-91dbm	-94 dbm
Tarjeta	Cisco	Aironet	PCI	-85 dbm	-89 dbm	-91dbm	-94 dbm
AP	D-Link	DI-624	Router	-82 dbm	-85 dbm	-86dbm	-89 dbm

Tabla N° 14. (Estos son valores dados por el fabricante).

8.5 Proporción Señal a Ruido (Signal to Noise Ratio).

La sensibilidad del receptor no es el único parámetro para el receptor, también tenemos que tener en cuenta la proporción de energía señal a ruido. Es la diferencia de energía mínima a alcanzar entre la señal recibida deseada y el ruido (ruido térmico, ruido

industrial debido por ejemplo a hornos a microondas, ruido de interferencia debido a otra WLAN en la misma banda de frecuencia). Está definido como:

Proporción Señal/Ruido [dB] = $10 * \text{Log}_{10} (\text{Poder de Señal [W]} / \text{Poder de ruido [W]})$.

Si la señal es más poderosa que el ruido, la proporción señal/ruido (también llamada proporción S/N) será positiva. Si la señal está oculta en el ruido, la proporción será negativa. Para poder trabajar en una cierta proporción de datos, el sistema necesita una mínima proporción S/N:

- Orinoco PCMCIA Silver/Gold: 11Mbps => 16 dB ; 5.5 Mbps => 11 dB ; 2 Mbps => 7 dB ; 1 Mbps => 4 dB.

Si el nivel de ruido es muy bajo entonces el sistema estará más limitado por la sensibilidad del receptor que por la proporción S/N. Si el nivel de ruido es alto entonces será la proporción Señal/Ruido que contará para alcanzar una proporción de datos dada. Si el nivel de ruido es alto necesitaremos más energía recibida. En condiciones normales sin ninguna otra WLAN en la frecuencia y sin ruido industrial el nivel de ruido será de alrededor de -100dBm. Por ejemplo, para alcanzar una proporción de datos de 11 Mbps con una tarjeta Orinoco 802.11b podríamos necesitar una energía recibida de 16 dB más alta (S/N ratio) por lo que un nivel de $-100+16=-84$ dBm pero en realidad la sensibilidad mínima del receptor está en -82 dBm, más alto que -84. Significa que en este caso la sensibilidad mínima del receptor es el factor limitante para el sistema.

CAPITULO IX
PREDICCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE
ENLACE

CAPITULO IX: PREDICCION E IMPLEMENTACION DE ENLACE

9.1 Energía irradiada.

La energía irradiada (energía enviada por la antena) puede ser fácilmente calculada (en dBm):

Energía irradiada [dBm] = Energía de transmisor [dBm] - pérdida de cable y conectores [dB] + ganancia de antena [dBi]

- El límite legal de energía irradiada (EiRP) para enlaces outdoor en Chile esta por debajo de 100mW (= +20dBm) ésta depende únicamente de las regulaciones de cada país.

9.2 Predicción de enlace (Link budget).

Predicción de enlace es el cálculo (antes de montar el enlace) de toda la cadena de transmisión. Aquí hay un budget para pérdida de transmisión de espacio libre:

- Transmisión [dBm]: energía de transmisor [dBm] -pérdida de cable y conectores [dB]+ ganancia de antena [dBi]
- Propagación [dB]: pérdida de Espacio Libre [dB].
- Receptor [dBm]: ganancia de antena [dBi]- pérdida de cable y conectores [dB]- sensibilidad de receptor [dBm]

La condición de funcionamiento del enlace es que el total : Total Transmisor + Total Propagación + Total Receptor debe ser mayor que 0 . El resto da el margen del sistema.

Advertencia: Estas reglas son teóricas. Representa el máximo alcanzable para un sistema. En realidad tendremos interferencias (otras redes WLAN, bluetooth), ruido industrial (hornos a microondas), pérdidas atmosféricas (humedad del aire, dispersión, refracción), antena mal orientada, reflexiones,... que afectarán el rendimiento. Por lo tanto es necesario tomar un suficiente margen de seguridad (5-6 dB o más en distancias grandes o según el grado de confiabilidad que se quiera alcanzar).

9.3 Margen de desvanecimiento.

Este parámetro corresponde a la diferencia entre el nivel de señal recibida y la sensibilidad práctica del receptor, expresado en decibeles. Es el margen que nos indicara que tanta confiabilidad puede tener el sistema.

9.4 Confiabilidad del enlace.

Este es un parámetro estadístico, expresado en porcentaje y depende, entre otros, del margen de desvanecimiento y corresponde al porcentaje del tiempo en que se espera que el enlace no se interrumpa.

9.5 Montaje de un enlace wireless de larga distancia.

Luego de presentar la información principal tendiente a introducir al estudiante o aficionado al mundo conceptual que implica el implementar enlaces inalámbricos en la banda de los 2.4 Ghz, es que se presentará un ejemplo en donde se necesita entregar solución de conectividad, para lo cual se dará un enfoque lo más realista posible.

IMPORTANTE: Esta parte del documento no pretende ser una guía puramente técnica sino más bien un documento de orientación y de información complementada con mi experiencia en este tipo de enlaces.

Una vez que se ha decidido que la mejor solución sea la de implementar un enlace inalámbrico de este tipo (punto a punto en 802.11b), descartando con ello otras tecnologías, se procederá a reunir toda la información posible en cuanto a la situación física y meteorológica en donde se pretenda realizar el enlace (a esto se le conoce como Survey), con lo cual se hará una revisión profunda tendiente a encontrar todos los principales factores y de todo tipo que pudieran intervenir en el futuro enlace. Para un mejor entendimiento se presentará un resumen con los pasos mas importantes que debemos

considerar, los cuales serán complementados con información real y específica según sea el caso.

9.5.1 Antes de montar el enlace.

Antes de montar el enlace es muy aconsejable hacer varios cálculos para orientarnos un poco y poder predecir resultados (Predicción del enlace).

Aunque en una primera instancia no disponía de los datos concretos para el objetivo (longitud necesaria de cable coaxial, distancia exacta entre edificios, etc...), se realizaron algunos cálculos aproximados usando equipos móviles dispuestos en ambos puntos o sea; tarjeta de 31mW con conector para antena externa + antena direccional de 12 dbi + pigtail + GPS + laptop equipado con Windows XP + software sniffer Netstumbler, (lo que ayuda mucho a la libertad de movimiento), además de un AP situado en el otro extremo a unir. El objetivo es conocer la combinación idónea entre tipo de cable y antena. Los resultados de estas pruebas me han acercado más a la dirección correcta en cuanto a lo que más o menos se necesita para el éxito del enlace.

9.5.2 Resumen de Parámetros de enlace.

- **Objetivo.**
- **Factores condicionantes.**
 - ❖ Sensibilidad del receptor.
 - ❖ Potencia de transmisión de las tarjetas.
 - ❖ Margen de desvanecimiento.
 - ❖ Calidad de los conectores.
 - ❖ Confiabilidad del enlace.
 - ❖ Longitud y calidad del pigtail.
 - ❖ Nivel de señal recibida.
 - ❖ Longitud y calidad del cable coaxial.
 - ❖ Ganancia de antena.
 - ❖ Distancia entre antenas.

- ❖ Zona de Fresnel.
- ❖ Condiciones del terreno y meteorológicas.
- Fórmula general.
- Materiales necesarios.
- Hardware
 - ❖ Elegir entre tarjeta o AP
 - ❖ Potencia necesaria
- Antenas
 - ❖ Tipo necesario
 - ❖ Ganancias
 - ❖ Montaje
- Conexiones
 - ❖ Cableado
 - ❖ Conectores
- Montando el enlace
- Resultados
- Glosario
- Bibliografía

9.5.2.1 Objetivo.

El objetivo es el de enlazar dos redes a través de una conexión punto a punto. Dado que la ubicación física de ambas redes distan varios kilómetros entre sí, es que he elegido la tecnología 802.11b, debido principalmente a su bajo costo y su alto rendimiento. No olvidar que con esta tecnología se puede alcanzar una velocidad de hasta 11 Mbps. incluido protocolo de señalización, lo cual satisface mis requerimientos de conectividad y operabilidad en cuanto a capacidad de transmisión.

A continuación un esquema de la situación:



Figura N° 59

Datos de propagación necesarios para el cálculo del radioenlace

Frecuencia	2.4 GHz
Distancia entre antenas	3.5 Km.
Perdida por propagación/ 3.5 Km. A 2.4Ghz	-110 db
70 % 1er Zona Fresnel a 1.75 Km. Aprox.	7.3 mt
Margen desvanecimiento mínimo	10 db
Margen desvanecimiento ciudad	15 db
Margen desvanecimiento clima adverso	20 db
Condiciones del terreno y meteorológicas	Optima
Nivel de señal recibida mínimo para 11 Mbps	-67 dbm
Altura punto A	
Altura punto B	

Tabla N° 15

	Punto A	Punto B
Equipo/marca/modelo	AP/D-link/DI-624	AP/D-link/DWL-2000
Potencia de transmisión	31 mw = 15 dbm	31 mw = 15 dbm
Sensibilidad Rx a 11Mbps	-82 dbm	-82 dbm
Sensibilidad Rx a 5.5 Mbps	-85 dbm	-85 dbm
Sensibilidad Rx para 2Mbps	-86 dbm	-86 dbm
Sensibilidad Rx para 1Mbps	-89 dbm	-89 dbm
Cable/modelo/largo/perdida	LMR195/1mt/0.6 db	LMR195/1mt/0.6 db
Conector1/modelo/perdida	Macho/R-SMA/0.5 db	Macho/R-SMA/0.5 db
Conector2/modelo/perdida	Macho/Tipo N/0.5 db	Macho/Tipo N/0.5 db
Antena/Ganancia	¿?	¿?
Pigtail / perdidas	1 dB	1 dB

Tabla N° 16

10.5.2.2 Factores condicionantes.

Los factores que van a condicionar y determinar el funcionamiento y el rendimiento del enlace se detallan a continuación:

- **Sensibilidad del receptor.**

Este parámetro viene dado por el hardware, en este caso se usaron AP en ambos puntos, y para una tasa de transmisión de 11 Mbits la sensibilidad en ambos equipos es -82 dbm.

- **Potencia de transmisión.**

Al igual que el parámetro anterior este viene dado por el fabricante y para ambos equipos (punto A y B) la potencia es de 31 mW o lo que es lo mismo 15 dbm.

- **Margen de desvanecimiento.**

Según el planteamiento del enlace, éste atravesaría parte de la ciudad hasta llegar a un punto en la periferia, por lo que existirán ruidos de diversos tipo que jugaran en contra del enlace, por tal motivo se recomienda un valor no menor a 15 db de resguardo para este factor.

- **Calidad de los conectores.**

Debemos ser cuidadosos a la hora de realizar las conexiones, crimpados y soldaduras de los conectores. Es preferible gastar algo más de dinero en conectores y herramientas de calidad, ganar en estabilidad del enlace y evitar de esta forma, pérdidas de señal.

Los conectores usados corresponden a la marca Hyperlink por lo que según el fabricante el valor de atenuación es de 0.2 db por cada conector.

Ahora, en el enlace se utilizaron 2 conectores del tipo R-SMA y 2 del tipo N para cable LMR-195, por tanto las perdidas por atenuación de conectores ascienden a 0.8 db.

- **Confiabilidad del enlace.**

Con respecto a este factor, se realiza el enlace esperando una confiabilidad del 99%, dado que siendo realista, lograr una confiabilidad del 100% en esto puede ser una utopía.

- **Longitud y calidad del pigtail.**

En este enlace el pigtail esta pensado para unir directamente el AP a su antena sin necesidad de extender la línea de transmisión con un cable de menos perdida y más largo. El pigtail tiene 1 metro de longitud y el cable es del tipo LMR-195 correspondiente a la empresa TimesMicrowave, la cual indica que las perdidas para este cable es de 0.6 db. Por lo tanto las pérdidas por cable en el sistema asciende a 1,2 db.

- **Ganancia de antena.**

Dado que la ganancia de antena es un factor que aumenta considerablemente las posibilidades de éxito del enlace por lo significativo de su aporte en ganancia al balance del sistema, y que además siendo un factor que se puede manejar en términos de elección, es que se decidirá por una antena de un tipo u otro al final del análisis cuando se haga el balance final de ganancias para así optar por la mejor antena de acuerdo a los términos de confiabilidad, optimización y margen de desvanecimiento del enlace.

Para este punto no entregaré sino hasta el final del análisis el valor de ganancia de antena ya que de un total de cuatro posibles modelos de antenas se eligió el óptimo para el enlace, previo cálculo el que se verá al final del análisis. En tanto las antenas disponibles para el enlace son:

- ❖ Omnidireccional de 16 dbi (Guía de ondas rectangular de 32 ranuras).
- ❖ Direccional tipo Panel de 14 dbi ([Hyperlink](#)).
- ❖ Direccional tipo Yagui de 12 dbi (Guía de ondas cilíndrica).
- ❖ Direccional Yagui con reflector parabólico de 20 dbi.

- **Nivel de señal recibida.**

Este parámetro puede ser calculado o medido (por ejemplo por los software denominados sniffer u olfateadores en español), y corresponde al nivel de potencia efectivamente recibida por el receptor y se puede expresar en distintas unidades de medida, generalmente en micro-voltios o decibeles referidos a un miliwatt (dbm).

En este enlace el nivel de señal recibida se puede obtener calculando el balance de energías del punto transmisor, que en este caso ambos puntos están configurados e implementados de la misma forma, el resultado será valido para ambos puntos.

En otras palabras el nivel de señal recibida esta dado por:

$$\text{Nivel señal recibida} = (\text{Potencia transmisión A}) - (\text{Pérdida conectores A}) - (\text{Pérdida cables A}) + (\text{Ganancia antena A}) - (\text{Pérdida propagación}) + (\text{Ganancia antena B}) - (\text{Pérdida cables B}) - (\text{Pérdida conectores B})$$

- **Longitud y calidad del cable coaxial.**

En este enlace no se uso cable coaxial más que el del Pigtail.

- **Distancia entre antenas.**

Este factor no deja de ser importante ya que de el depende que tipo de tecnología se usará para implementar el enlace. En 802.11b se han implementado enlaces de hasta 72 Km. como es el caso de académicos y estudiantes de la Universidad de la Frontera de Temuco en marco de pruebas de equipos para el proyecto “Difusión Multimedial inalámbrica IP” por el año 2002. Ellos, para tal alcance, utilizaron amplificadores de señal y antenas altamente direccionales. En nuestro caso 3,5 Km. entre antenas no será necesario de tales equipos.

- **Zona de Fresnel.**

Dado que en este enlace la línea de vista es perfectamente limpia, no existen obstrucciones, no será necesario un cálculo de la zona de Fresnel.

- **Condiciones del terreno y meteorológicas.**

Este factor indica bajo que condiciones meteorológicas y de terreno deberá operar el enlace, por lo que se debe considerar el como asegurar la confiabilidad en el tiempo del enlace. En este caso el enlace se encuentra en una región donde el clima es lluvioso y frío en invierno e irritante en verano (aunque por 2 o 3 meses), por lo que se aconseja tomar los resguardos necesarios en cuanto a evitar la humedad en invierno y la mala ventilación en verano para los equipos que se encuentren a la intemperie.

En el mercado es posible encontrar distintas soluciones, una de ellas a continuación:



Figura N° 60. Caja (exterior) protección intemperie para AP

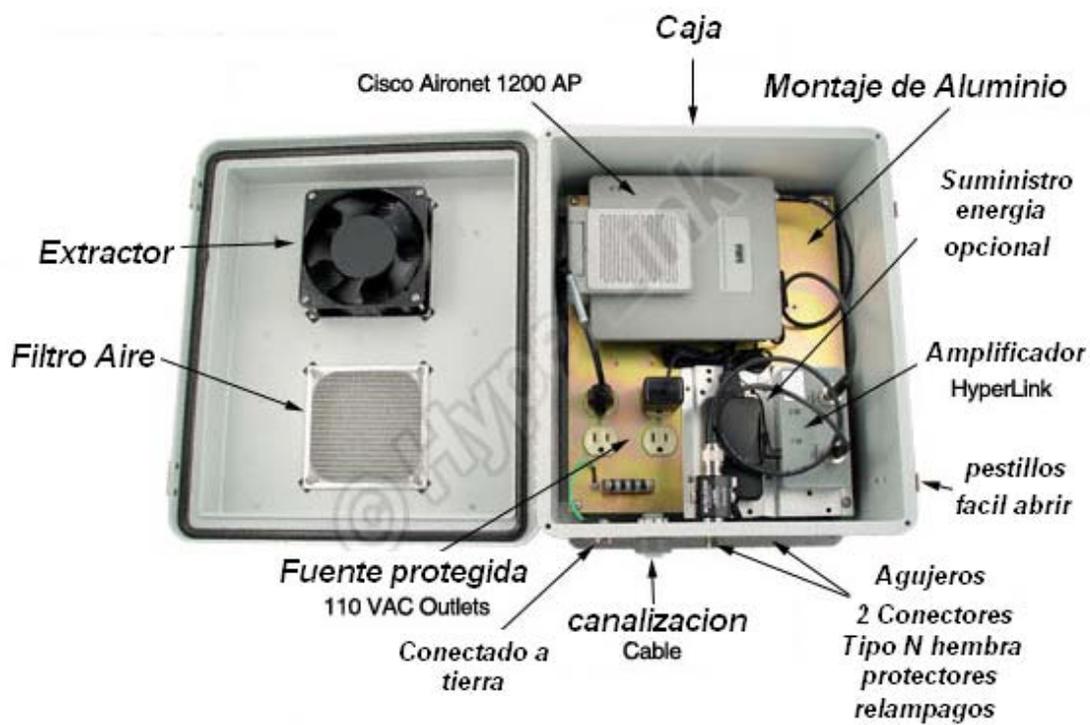


Figura N° 61. Interior de una caja PVC protectora de la intemperie de equipos de transmisión

9.5.2.3 Fórmula General.

Ahora bien, se ha llegado al momento en que se realizará el balance de las energías, estas son todas las ganancias y todas las pérdidas involucradas, para luego ver la factibilidad de éxito de la implementación del enlace, de acuerdo a los materiales, equipos, condiciones topográficas y meteorológicas de este enlace.

Se tiene que las ganancias involucradas son:

- ❖ Ganancia antena punto A = G_{a_a}
- ❖ Ganancia Tx Punto A = 15 dbm
- ❖ Ganancia antena punto B = G_{a_b}
- ❖ Ganancia Tx punto B = 15 dbm

En tanto las pérdidas involucradas son:

- ❖ Aplicando *ecuación N° 8*, la pérdida por propagación a los 3.5 Km. = 110 db
- ❖ Atenuación conectores punto A = 0.4 db
- ❖ Atenuación cable punto A = 0.6
- ❖ Atenuación conectores punto B = 0.4 db
- ❖ Atenuación cable punto B = 0.6

Podemos calcular el nivel de recepción de señal en función de todos los factores condicionantes:

Nivel señal recibida = (Potencia transmisión A) – (Pérdida conectores A) – (Pérdida cables A) + (Ganancia antena A) – (Pérdida propagación) + (Ganancia antena B) – Pérdida cables B) – (Pérdida conectores B)

O abreviando:

$$N_{sr} = P_{t_a} - P_{co_a} - P_{ca_a} + G_{a_a} - P_p + G_{a_b} - P_{ca_b} - P_{co_b}$$

Para comprender mejor, a continuación un esquema más gráfico de la fórmula, que sigue el mismo orden:

AP – conectores – coaxial + antena – separación + antena – coaxial – conectores

Para establecer un enlace óptimo, el Nsr debe ser mayor que la sensibilidad del receptor + el margen que se le quiera dar.

Para este enlace, la sensibilidad del receptor (el mismo en ambos lados) es:

Para 11Mbit: -82 dBm

Para 5.5Mbit: -85 dBm

Para 2Mbit: -86 dBm

Para 1Mbit: -89 dBm

El margen ha de ser:

- ❖ Mínimo: 10 dB
- ❖ Enlaces expuestos a interferencias (ciudad): 15 dB
- ❖ Enlaces con condiciones climáticas adversas: 20 dB

En nuestro caso, el enlace de 11Mbit que pretendemos crear, atraviesa parte de la ciudad hasta la periferia, por tanto aplicamos los -82 dBm de sensibilidad del Access Point y los 15 dB de margen, quedando:

$N_{sr} > -82 \text{ dbm} + 15 \text{ dbm}$

$$N_{sr} > -67 \text{ dBm}$$

Concluyendo:

$$P_{t_a} - P_{co_a} - P_{ca_a} + G_{a_a} - P_p + G_{a_b} - P_{ca_b} - P_{co_b} > -67 \text{ dBm}$$

Reemplazando valores queda que:

$$15 - 0.4 - 0.6 + G_{a_a} - 110 + G_{a_b} - 0.6 - 0.4 > -67 \text{ dbm}$$

Si asumimos que las 2 antenas serán de la misma ganancia $G_{a_a} = G_{a_b}$, se tiene que:

$$-97 + 2G_{(a=b)} > -67$$

y despejando $G_{(a=b)}$ queda:

$$G_{(a=b)} > +15 \text{ dbi}$$

El resultado anterior nos indica que de acuerdo a todos los parámetros esperados del enlace, tal como su confiabilidad, este debiera ser implementado con antenas de una ganancia igual o mayor a 15 dbi para así cumplir con las expectativas plantadas al inicio de la propuesta del enlace.

Luego de este resultado, se decidió, entre las alternativas de antenas disponibles para el enlace, utilizar en el pto A una antena omnidireccional del tipo guía de ondas rectangular de 16 dbi (diseño propuesto por Trevor Marchall), en tanto en el extremo B una antena direccional del tipo Yagui con reflector parabólico de 20 dbi, con lo cual el margen de desvanecimiento estará por sobre el valor mínimo deseado.

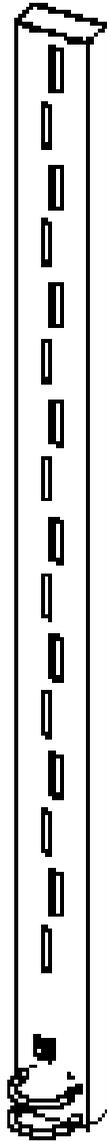


Figura N° 62. Antena Omnidireccional guía de ondas de 32 ranuras y 16 dbi

9.5.2.4 Materiales necesarios.

Para establecer el enlace fueron necesarios:

- Dos PC's escritorio con Windows XP y tarjetas de red ethernet.
- Un PC's laptop con Windows XP y tarjeta PCMCIA wireless con conector externo para antena y su respectivo pigtail (equipo de prueba opcional).

- Dos Access Point wireless 802.11g configurados a 802.11b con conector de antena externa del tipo R-SMA.
- Dos “pigtailes” o latiguillo conversor de tipo de conectores, (R-SMA macho a Tipo N macho c/u).
- Una antena guía de ondas omnidireccional 16 dbi.
- Una antena guía de onda con reflector parabólico 20 dbi.
- Dos cajas estanca.
- Cuatro abrazaderas metálicas.
- Bridas plásticas negras.
- Cable UTP y conectores RJ-45 más Herramientas de Crimpeado RJ.
- Crimpeadora para conectores coaxiales.
- Termoprotector para conectores coaxiales.
- Software Sniffer Netstumbler 4.0.

9.5.2.5 Montaje

El montaje final de la antena es un aspecto importante a tener en cuenta. Deberíamos tener precaución de:

- Montar las antenas de manera que tengan visibilidad directa entre sí
- Ubicarlas cerca del eje del edificio o tejado no en los extremos de éste
- Asegurarse de que la zona donde la montamos es resistente.
- Afianzar bien la antena de manera que no se mueva con el viento
- La instalación debe tener una buena toma de tierra
- Sujetar bien el cable coaxial con bridas en el caso de que éste fuese muy extenso.
- Utilizar suelas de goma si el montaje se realiza en una azotea para evitar resbalones.
- Encintar y asegurar todas las conexiones o bien usar termoprotectores.
- Utilizar bridas de color negro. Las blancas se deterioran con los rayos ultravioletas.

- Si es posible, proteger el coaxial con tubo corrugado o similar.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se expone de forma clara y amigable a la lectura, desde lo general a lo particular, todo un contexto tendiente a lograr el entendimiento necesario para la comprensión y posterior evaluación de amplios criterios requeridos en la implementación de enlaces inalámbricos bajo la norma IEEE 802.11b, introduciendo de esta manera conceptos teóricos e ideas sacadas de la práctica, muchas veces relatada de forma lúdica.

Se ha entregado una visión generalizada de la evolución de la tecnología que implica la norma IEEE 802.11b, dejando en claro las expectativas en cuanto a su uso y limitaciones, así como de los factores que pudieran actuar ya sea en contra como a favor de ella.

Se analizaron además, los principales componentes que forman un enlace inalámbrico de este tipo, resaltando sus defectos y virtudes en pro de lograr la configuración óptima requerida para el buen desempeño y calidad del enlace.

He puesto un gran énfasis en acompañar a cada concepto descrito, una consideración o recomendación que me ha dado la práctica en la implementación de este tipo de enlaces, lo que considero un complemento al análisis, estrechando así, la brecha entre lo teórico y lo práctico.

La información propuesta en este trabajo, la he entregado de tal manera que el estudiante o aficionado encuentre aquí, la esencia de los temas referidos a este tipo de enlaces, pudiendo éstos experimentar con esta tecnología y que gracias a unos precios populares de los equipos mínimos necesarios, se presenta como una excelente opción incluso para ser considerada como tema a desarrollar en los laboratorios de la Universidad.

Considero además, que este trabajo representa o refleja, en gran parte de su contexto, a tan solo una de las posibles aplicaciones a todos los temas y conceptos tratados de una u otra forma, durante mi permanencia en la Universidad, sean éstos conceptos, físicos, matemáticos, valóricos, etc.

BIBLIOGRAFIA

- **802.11 Wireless Networks: The Definitive Guide**, by Matthew Gast. Editorial O'Reilly. 2002.
- **Implementing 802.11, 802.16 and 802.20 Wireless Networks**, by Ron Olexa. Editorial Elsevier. 2005.
- **Wi-Fi Security**, by Stewart S. Miller. Editorial Mc-Graw Hill. 2003.
- **Wi-Fi Handbook: Building 802.11b Wireless Networks**, by Frank Ohrtman and Konrad Roeder. Editorial McGraw-Hill. 2003.
- **WiFi Home Networking**, by Raymond J. Smith. Editorial Mc-Graw Hill. 2003
- **Building Wireless Community Network**, by Rob Flickenger. Editorial O'Reilly. 1º Edición Enero 2002.
- **Going Wi-Fi: A Practical Guide to Planning and Building an 802.11 Network**. Editorial CMP Books. 2003.
- <http://www.ieee.com>
- <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>
- <http://www.timesmicrowave.com>
- <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>
- <http://www.mendoza-wireless.net.ar/hardware/antenas/calculo.php>
- <http://www.chilewireless.cl>
- <http://www.chilewireless.cl/tutoriales/antena/kryzpo.htm>
- <http://www.cq-radio.com>
- <http://www.wikipedia.org>
- <http://www.sevillawireless.net/>
- <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen2/ciencia3/078/htm/relativ.htm>
- http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2001184/lecciones/Cap01/01_01_01.htm
- <http://www.solred.com.ar/lu6etj/tecnicos/fmeprop/fmeprop.htm>
- <http://www.cienciafacil.com/paghistoriaradio.html>
- <http://www.sss-mag.com/ssttopics.html>
- http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volumen3/ciencia3/112/htm/sec_20.htm
- <http://www.dlink.com>
- <http://www.hyperlinktech.com/>
- <http://debaser.ath.cx/atroz/docs/antenas/cantenna/>

ANEXOS

ANEXO A

DECIBELES.

A.1 El Belio

Para entender lo que significa esta unidad de medida y que por lo demás es muy importante en este trabajo es que mostraré un esquema de bloques simplificado de dos receptores un poco antiguos no superheterodinos, sino de radiofrecuencia sintonizada (A y B), tal como eran los primeros receptores (*figura A.1*), que no llevaban ninguna conversión de frecuencia, sino sólo amplificadores sintonizados con un condensador variable de múltiples secciones, luego un detector por rejilla y un amplificador de audio.

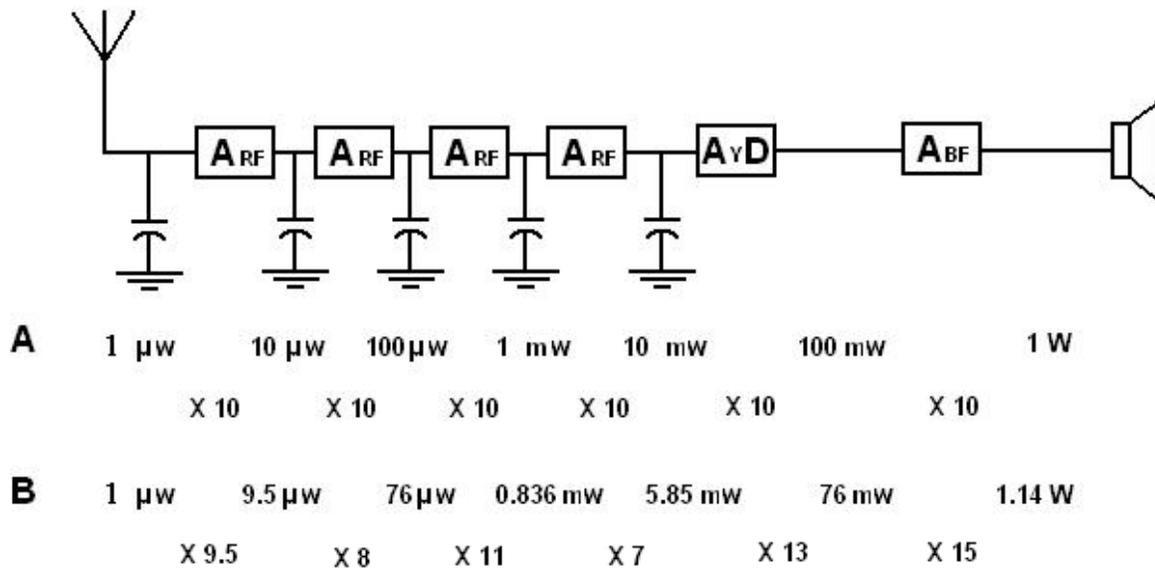


Figura A.1 Esquema de Amplificador simple

Para calcular la ganancia del receptor A, comparamos las potencias a la salida y a la entrada (suponiendo que la resistencia sobre que se miden sea la misma):

$$G(A) = W_s / W_e = 1W / 1\mu W = 1 / 0,000001 = 1.000.000 = 10^6$$

Como se ve, el número que se obtiene es muy elevado, y esto significa que para calcular ganancias de receptores debemos utilizar números de varios millones de veces de amplificación. Esto resulta muy incómodo y, además, cuando las ganancias individuales de cada etapa no son números enteros, tal como ocurre en el receptor B, obliga a unas multiplicaciones complicadas con decimales:

$$G(B) = 9,5 \times 8 \times 11 \times 7 \times 13 \times 15 = 1,141,140 \text{ veces}$$

Por eso tuvo éxito la idea de que la ganancia se podía expresar con un solo número; el exponente que va encima del número 10 o sea el número que indicaría el número de ceros que lleva la cantidad multiplicadora final que da la ganancia total del receptor. Por ejemplo:

$$G(A) = 1.000.000 = 10^6 \text{ (seis ceros)}$$

Si decidimos, por ser mucho más práctico, expresar la ganancia por potencias del número 10, que resulta mucho más manejable, existe un algoritmo matemático (procedimiento de cálculo) que nos da ese número directamente y a este método de cálculo le llamamos logaritmos decimales. En efecto, aplicamos logaritmos decimales a esta ganancia y el resultado es el número de ceros que hay que añadir o potencias de diez por las que hay que multiplicar la entrada (1 μ W) para que nos dé la salida (1 W). Es decir, que para obtener la salida de 1 Watt debemos multiplicar la entrada (1 μ W) por un millón o añadirle seis ceros. Así se dirá que la ganancia es de 6. Pero a este cálculo, en electricidad se le da un nombre más bonito y más técnico. La unidad de ganancia la bautizaron con el nombre de **belio** (abreviadamente B), de forma que diremos que su ganancia es de 6 B. El nombre se le dio, por supuesto, en homenaje a Alexander Graham Bell (en inglés cuenta el último apellido), el inventor del teléfono.

En el segundo receptor, el B, la ganancia no es un número múltiplo exacto de 10, sino un número más complicado, pero los logaritmos nos resuelven este problema, pues consiguen darnos un número de ceros y la fracción después de la coma que producen esa amplificación, lo anterior fácil de comprobar con una calculadora que lleve logaritmos decimales. (Nota, no confundir con logaritmos naturales que son muy diferentes).

$$G(B) = \log \text{ de } 1141.140 = 6,05 \text{ B}$$

Es decir, los logaritmos nos dicen que el número de ceros necesarios para multiplicar a $1\mu\text{W}$, o sea la ganancia del receptor, no es número exacto (entero), sino que tiene una fracción; seis y pico. Este número es el exponente al que habría que elevar el número 10 (de ahí el nombre de logaritmos decimales) para obtener la cifra exacta de la ganancia o sea 1.141.140

$$1.141.140 = 10^{6,05}$$

Así pues, para expresar la ganancia del receptor, en vez de decir que tiene una ganancia de un millón ciento cuarenta y una mil ciento cuarenta veces, diremos que tiene una ganancia de 6,05 B (belios).

Los belios, como son logaritmos, tienen también la gran ventaja que transforman todas las multiplicaciones en sumas.

A.2 El Decibelio.

Pero los técnicos eran perfeccionistas y llegaron a la conclusión de que el belio era una unidad demasiado grande y poco práctica y que todo el día les obligaba a utilizar decimales, por lo que decidieron crear un submúltiplo más manejable al que llamaron el *decibelio*, o sea la décima de belio, de forma que obligara a usar números diez veces más grandes.

Atención que el decibelio es al belio, lo que el decímetro es al metro. Nada más que eso. Es decir que, si 1 metro tiene 10 decímetros, 1 belio, tiene 10 decibelios. Matemáticamente se escribe:

$$1 \text{ metro} = 10 \text{ decímetros} = 10 \text{ dm}$$

$$1 \text{ belio} = 10 \text{ decibelios} = 10 \text{ dB}$$

Es decir que ahora necesitaremos un número 10 veces mayor para expresar el mismo resultado o lo que es lo mismo, tendremos que multiplicarlo por 10.

Luego nuestro receptor A, tendrá una ganancia de:

$$6 \text{ belios} = 6 \times 10 = 60 \text{ dB}$$

Y el receptor B, tendrá también una ganancia de:

$$6,05 \text{ belios} = 6,05 \times 10 = 60,5 \text{ dB}$$

A mí no me parece bien este cambio, pues seguimos manejando decimales; ahora que la técnica afina mucho más en las antenas y ya empezamos a oír que una antena tiene 8,5 dB de ganancia, y cualquier día oiremos que otra antena es mucho mejor pues tiene 8,55 dB de ganancia, ¿por qué no seguimos utilizando la unidad de ganancia definida como belio?

Si fuéramos consecuentes, ahora que estamos ya utilizando decimales otra vez, lo lógico sería que empezáramos a utilizar el centibelio, para que pudiéramos escribir sin decimales:

$$G(A) = 6 \times 100 = 600 \text{ centibelios} \quad G(B) = 6,05 \times 100 = 605 \text{ centibelios}$$

Supongo que este odio por los decimales debe de haber salido de algún sitio, pero hoy en día se considera que todo el que trabaja en algo técnico tiene una formación básica que le permite manejar los decimales sin dificultad. Claro que «del dicho al hecho hay mucho trecho».

En fin, el utilizar decibelios exige que multipliquemos por diez el resultado de aplicar logaritmos a la ganancia.

Así pues, la fórmula de la ganancia en decibelios la tendremos que escribir como:

$$G = 10 \times \log (W_s/W_e) \text{ en decibelios.} \quad \textit{Ecuación N° A.1}$$

Si la comparamos con la que pusimos para calcular la ganancia del receptor A, ambas difieren en que primero aplicamos logaritmos decimales y luego multiplicamos por 10. Al aplicar logaritmos obtenemos belios y al multiplicar por diez obtenemos decibelios.

Y para terminar esta primera parte dedicada al decibelio, voy a plantear el problema que se presenta cuando las ganancias que queremos medir no son de potencia sino de

tensión. Las ganancias de los amplificadores son siempre de potencia, pues es la posibilidad de actuar y de proporcionar energía lo que queremos potenciar con la amplificación. Con la amplificación queremos aumentar la capacidad de efectuar un efecto físico, como excitar un altavoz, ver con mayor contraste una imagen, etc.

Existen amplificadores llamados «falsamente» de tensión; pues parece que se limitan a amplificar tensiones, aunque la realidad es que también aumentan la potencia simultáneamente.

De todas maneras, las ganancias también se pueden comparar midiendo solamente tensiones, pero para ello hay que tomar varias precauciones especiales.

Primero, es que deben medirse las tensiones sobre una resistencia idéntica. Noten que eso es muy difícil en el caso de amplificadores de audio y de receptores, pues generalmente la impedancia de entrada (50 ohmios en las antenas) no es la misma que la del altavoz (8 ohmios) en los receptores, y en los amplificadores todavía se parecen menos la impedancia de entrada (600 ohmios en entradas de baja impedancia) con la de los altavoces. Por eso debemos siempre tener presente que las ganancias de tensión deben referirse a la misma resistencia, o deben haber sido medidas las dos tensiones (entrada y salida) en resistencias o impedancias idénticas.

Segundo. Hay que tener en cuenta que las ganancias, midiendo las tensiones en resistencias iguales, tienen una fórmula ligeramente distinta, como vamos a ver ahora. Hay que multiplicar el resultado por 2.

$$W_s = V_s^2 / R, \text{ para la potencia de salida.}$$

$$W_e = V_e^2 / R, \text{ para la potencia de entrada.}$$

Si aplicamos la fórmula de la ganancia en belios (aplicamos logaritmos) obtendremos:

$$G = \log (W_s / W_e) = \log (V_s / V_e)^2 = 2 \times \log (V_s / V_e)$$

o sea que el 2 pasa delante multiplicando, para las tensiones. Esto nos dice que la ganancia en belios obtenida comparando las tensiones de entrada y la salida en la misma resistencia es el doble del resultado de aplicar los logaritmos normales a las tensiones.

Si medimos en decibelios, tenemos que multiplicar por 10.

$$G = 10 \times \log (W_s / W_e) = 2 \times 10 \times \log (V_s / V_e) = 20 \times \log (V_s / V_e) \quad \text{Ecuación N° A.2}$$

De forma que los logaritmos obtenidos con las tensiones los tenemos que multiplicar por 20 para obtener los decibelios, en vez de multiplicar por 10, cuando eran potencias.

Nótese que digo los logaritmos y no los decibelios.

Tercero. Las ganancias de tensión y de potencia son siempre los mismos decibelios. No existen decibelios de tensión y de potencia diferentes. Existen logaritmos diferentes, que luego hay que multiplicar por 10 o por 20 según se hayan comparado potencias o tensiones, pero luego la ganancia en decibelios es única. Luego no digamos nunca estos decibelios son de ganancia de tensión y esos son de potencia.

Así pues, si un pre-amplificador tiene 20 dB de ganancia, y medimos su entrada y salida sobre 100 ohmios, podremos comprobar que, si en la entrada hay un 1 μV , en la salida hay 10 μV .

$$G = 20 \times \log (10 \mu\text{V} / 1 \mu\text{V}) = 20 \times 1 = 20 \text{ dB}$$

Y su ganancia en potencia es exactamente la misma o sea 20 dB, aunque las potencias tienen distinto valor como podemos calcular:

$$W_s = V_s^2 / R = (0,000.01)^2 / 100 = 0,000.000.000.001 \text{ W} = 10^{-12} \text{ W}$$
$$W_e = V_e^2 / R = (0,000.001)^2 / 100 = 0.000.000.000.000.01 \text{ W} = 10^{-14} \text{ W}$$

si en la entrada hay 0,01 pW (10^{-14} W), tenemos que obtener en la salida 1 pW (10^{-12} W).

$$G = 10 \times \log (1 \text{ pW} / 0,01 \text{ pW}) = 10 \times \log (100) = 10 \times 2 = 20 \text{ Db}$$

Es decir que, tanto si evaluamos la ganancia midiendo tensiones, como si la medimos comparando potencias, la ganancia es la misma y nos da 20 decibelios, siempre que hayamos aplicado la correspondiente fórmula $20 \times \log$, si medimos tensiones, y $10 \times \log$, si medimos potencias.

Algunos fabricantes o distribuidores anuncian la ganancia para las antenas, de manera no muy transparente, es decir; se ven cosas como 10 dB de ganancia, 12 dB y otras fantasías. A la que menos le dan son 6 dB de ganancia, que en términos de multiplicación significan multiplicar la potencia emisora por cuatro veces y, cuando la compras, descubres que no es más que una escoba que capta radiofrecuencia de todas partes, menos de la que te interesa. Para seguir nuestro camino con el decibelio por la ruta dorada de las antenas, se necesita conocer dos cosas más:

- Primero, disponer una buena tabla de decibelios tal como la *tabla A.1*, que nos evite el tener que usar los logaritmos o una calculadora para comparaciones sencillas.
- Segundo, saber que significan exactamente las ganancias de una antena. Veamos una observación importante; **las ganancias en decibelios son únicas**, y el mismo número de decibelios se aplica igual a tensiones que a potencias. **Los decibelios son siempre los mismos**, aunque el multiplicador de potencia difiere del multiplicador de tensión.

Las ganancias de las antenas no son ganancias en el mismo sentido que los amplificadores, los cuales aumentan la potencia de una señal dándole más amplitud por aportación de más energía, sino que en las antenas tiene matices diferentes. Aunque el resultado sea el mismo; o sea, obtenemos una señal de mayor amplitud en recepción y en transmisión.

A.3 La antena isotrópica.

Para conocer la ganancia de una antena en transmisión, la comparamos con un emisor, cuya antena fuera solamente un punto y a la que llamamos antena isotrópica (ver *figura A.2*). Es decir imaginamos una antena que sea un punto radiante que envíe la potencia del transmisor repartida por igual en todas direcciones y a la que llamamos antena A.

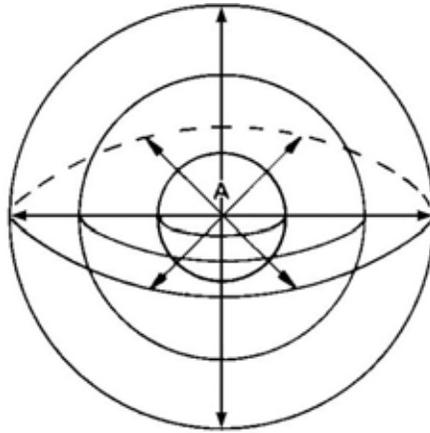


Figura A.2 Propagación antena A isotrópica

La radiación se desprende en forma de oleadas de esferas sucesivas que se alejan progresivamente del centro de la esfera que es el punto radiante o antena isotrópica. La antena isotrópica no existe, pero permite comparar matemáticamente todas las antenas, y definir su ganancia como resultado de la directividad.

La directividad no es más que la capacidad de concentrar la radiación en una dirección determinada. Es decir que una antena con directividad (y de ahí su ganancia), como por ejemplo la antena B de la *figura A.3* concentra la potencia del transmisor en unas direcciones privilegiadas del espacio. Por consiguiente, la potencia en estas direcciones privilegiadas es mayor que la que originaría una antena isotrópica con el mismo transmisor y potencia.

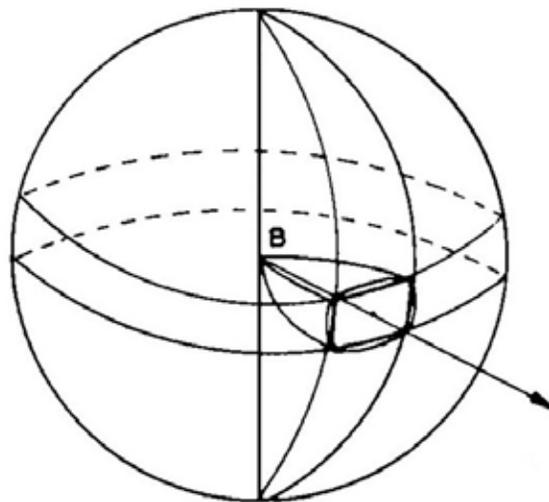


Figura A.3 Antena B directiva

Ahora aumentamos la potencia del transmisor A, equipado con la antena isotr3pica A, hasta que en la direcci3n que estamos comparando se obtenga la misma potencia radiada que con la antena directiva B. Si para conseguirlo hay que multiplicar la potencia del transmisor por 8, diremos que la antena B tiene una ganancia de 9 dB isotr3picos, o 9 dBi (v3ease la *tabla A.1* de equivalencias entre multiplicadores y decibelios en la que se ve que x8 equivale a 9 dB, valor aproximado de 9,03 dB). Dici3ndolo al rev3s, la antena B produce una radiaci3n de energ3a en la direcci3n privilegiada que es ocho veces mayor que la que dar3a una antena isotr3pica, por lo que decimos que tiene una ganancia de 9 dBi.

Ganancia Decibelios	Equivalente a Relaci3n de Potencias W_s / W_e	Equivalente a relaci3n de tensiones V_s / V_e
1 dB	x 1	X 1,12
2 dB	x 1,58	X 1,25
3 dB	X 2	X 1,41
5 dB	X 3,16	X 1,78
6 dB	X 4	X 2
9 dB	X 8	X 2,81
10 dB	X 10	X 3,16
20 dB	X 100	X 10
30 dB	X 1000	X 31,6
40 dB	X 10000	X 100
50 dB	X 100000	X 316
60 dB	X 1000000	X 1000

Tabla A.1. Decibelios

N3tese que la antena no genera nueva potencia, sino que la concentra, o sea que no es un amplificador activo en el sentido de darle una aportaci3n de nueva energ3a, sino que se limita a concentrar la que ya hab3a generado el transmisor. Eso no importa, pues el resultado de utilizar la antena B produce el mismo efecto que si tuvi3ramos un transmisor ocho veces m3s potente en A con la antena isotr3pica.

La gran ventaja de las antenas directivas es que obtenemos más potencia equivalente, sin gastar más energía en el transmisor. Es la amplificación de energía más barata, que nos saldría casi gratis, si las antenas directivas no fuesen tan caras, Pero la compra de una buena antena directiva será siempre más rentable que la de un amplificador de más potencia.

A.4 El decibelio respecto del dipolo (dBd).

En la práctica, como la antena isotrópica es ficticia y no puede construirse, pues es imposible concentrar una antena en un punto, se hacen las comparaciones con una antena real que es el dipolo de 1/2 onda en el espacio libre, del que se ha determinado que tiene una ganancia de 2.1 dBi, o sea que produce una radiación en la dirección perpendicular al mismo que es 1,6 veces la de una antena isotrópica.

Y como a nosotros nos interesan más las comparaciones con antenas reales, por consiguiente, todas las ganancias de las antenas de radioaficionado se dan preferentemente comparadas con un dipolo de media onda, en vez de con la isotrópica, y al resultado se le añade la letra d. Nuestra antena directiva B tiene una ganancia de $9 - 2,1 = 6,9$ dBd comparativamente a un dipolo. Pero algunos fabricantes intentan pasar gato por liebre y no dicen con cual de las dos antenas de referencia ha sido comparada la ganancia de su antena. Intentan darnos ganancias dBi en lugar de dBd, con lo que dan valores 2,1 dB superiores a los que deberían dar. Normalmente esto se detecta porque estos fabricantes no especifican la letra que va a continuación de los dB, lo cual nos indicaría, sin ninguna duda, qué tipo de comparación han efectuado para evaluar la ganancia.

Esto se agrava con las antenas verticales, pues generalmente las ganancias se dan comparativamente con una antena típicamente vertical de 1/4 de longitud de onda. No se pueden hacer comparaciones reales entre antenas de polarización vertical y otra horizontal, por lo que las ganancias con relación a un dipolo horizontal son carentes de sentido.

Además hay una gran confusión, pues la antena vertical de 1/4 de onda patrón debe de tener teóricamente un plano infinito conductor en el espacio libre, pero esa antena no es real. Es tan ficticia como la isotrópica. No se puede conseguir un plano de tierra infinito y perfectamente conductor.

La antena vertical de 1/4 de onda real con plano de tierra más o menos mal conductor es peor que el dipolo de media onda, pues es más pequeña y se considera que tiene una ganancia negativa respecto al dipolo de -1.75 dBd. Es decir, que su ganancia isotrópica sería $G = 2,1 - 1,75 = 0,35$ dBi

Aprovechando esto, generalmente las ganancias de antenas verticales son prácticamente ganancias isotrópicas, pues el valor isotrópico es casi el mismo si la ganancia se compara con un cuarto de onda real. Es decir, que siempre hay que recordar que debemos restar 2 dB para compararlos con dipolos de media onda.

A.5 El decibelio absoluto o dBm.

Hasta ahora hemos hablado del decibelio como una unidad relativa, una medida de comparación entre señales de entrada y salida de un amplificador. Es decir, hemos insistido en que era una unidad de comparación y que no es una unidad que dé valores absolutos. En Física diríamos que es una unidad sin dimensiones o adimensional. Sin embargo, en cuanto a potencias, sí que se ha pensado en una potencia de referencia con la cual podemos comparar todas las demás y hablar de decibelios absolutos, referidos a esta potencia clave. Esto nos permite utilizar el decibelio como unidad absoluta, puesto que lo usamos para comparar cualquier potencia con una de referencia preestablecida.

Esta potencia de referencia preestablecida clave es 1 mW (milivatio), aunque a veces también se utiliza el vatio.

Los decibelios que comparan una potencia con el milivatio se llaman dBm, y los que la comparan con el vatio, dBW.

Así, retomando la *ecuación N° A.1* encontramos que para 1 mW tanto para la potencia de entrada como la de salida, obtenemos 0 dbm como señal recibida, transformándose ésta (1 mW), en la referencia absoluta para nuestras comparaciones futuras en dbm. La *ecuación A.1* se re-escribiría entonces de la siguiente forma:

Nivel de señal recibida = $10 \times \log (\text{Potencia de salida (mW)} / 1 \text{ (mW)})$ dbm. *Ec N° A.3*

Para nuestros enlaces del tipo WIFI y en especial para los radioaficionados, las potencias casi siempre se miden sobre una resistencia de 50 ohmios, por lo que la tensión correspondiente a un milivatio es:

$$V_m = \sqrt{W \times R} = \sqrt{0,001 \text{ vatios} \times 50 \text{ ohmios}} = 0,223 \text{ V} = 223 \text{ mV}$$

Y a un vatio:

$$V_w = \sqrt{W \times R} = \sqrt{1 \text{ vatio} \times 50 \text{ ohmios}} = 7,07 \text{ V}$$

Si tenemos una señal de referencia de 50 μ V en los bornes de un receptor cuya impedancia característica es 50 ohm, entonces podemos decir que:

Nivel de señal recibida = $20 \times \log (0,000,050 \text{ V} / 0,223 \text{ V}) = -73 \text{ dBm}$ referida a 1 milivatio

o si lo referimos a 1 vatio sería:

$$\text{Nivel de señal recibida} = 20 \log (0,000,050 \text{ V} / 7,07 \text{ V}) = -103 \text{ dBW}$$

Con esta referencia, podemos hablar de potencias y tensiones de forma absoluta con los decibelios, aunque estos sean una medida relativa de comparación.

Con este resumen espero haber contribuido a despejar las dudas respecto de esta unidad de medida tan importante al momento de calcular un enlace inalámbrico.

ANEXO B

CONSTRUCCION ANTENA GUIA DE ONDAS

B.1 Introducción.

Esta antena, considerada del tipo económica, se presenta como una gran alternativa para utilizarla en nuestras primeras experiencias de enlaces en 2.4 GHz. Este modelo de guía de ondas propuesto por Martti Palomaki, y luego adaptado en su construcción por un sin número de aficionados, goza de excelentes características para la propagación, gracias a sus normalmente 12 dbi, y a su ángulo de apertura que la clasifica como una antena de tipo direccional.

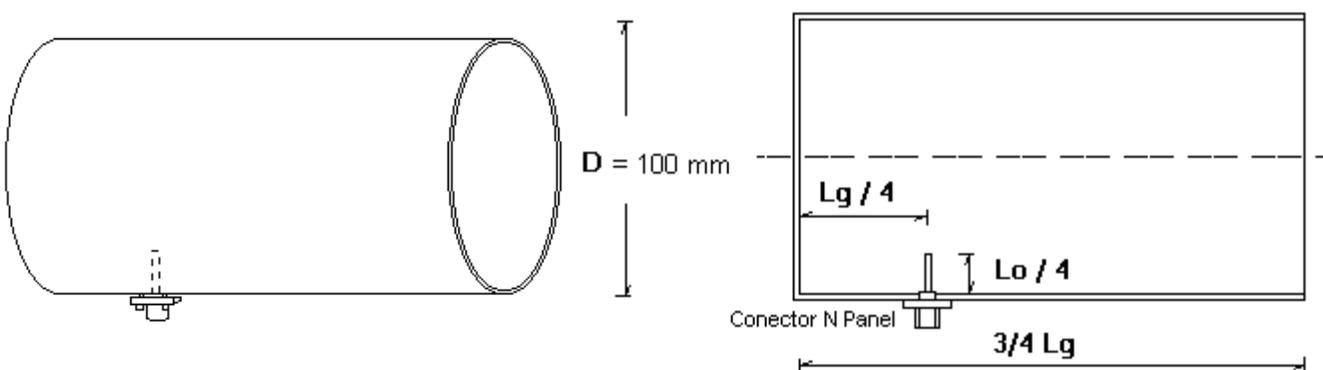
Sin embargo, no entraré en detalles exhaustivos de la antena, y si el lector desea puede ver información de “Guía Ondas para redes inalámbricas” de Martti Palomaki, en el siguiente link; <http://debaser.ath.cx/atroz/docs/antenas/cantenna/>.

Los que opten por este modelo, se verán recompensados por una buena antena construida para una frecuencia central de 2437 MHz, es decir, frecuencia del canal 6, lo que no quita (si leyeron la tesis), que pueda ser usada en los otros canales, ya que el espectro de frecuencias ISM está asegurado dentro de las frecuencias de corte superior e inferior de esta antena.



Lo primero que se debe hacer es leer completo este documento (*Anexo B*), entender e investigar, para lograr realizar con éxito este proyecto.

Si nos remitimos a la *ecuación N° 3 de la tesis* encontramos que para una frecuencia de 2437 MHz correspondiente al canal 6, la longitud de onda $\lambda = 123$ mm aproximadamente.



B.2 Teoría de la Antena "Guía de Ondas"

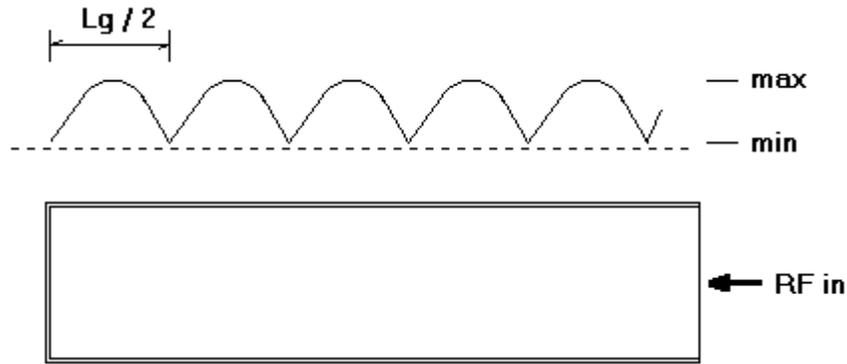
Dentro del tubo que hace de guía de ondas distinguiremos tres ondas distintas. Las denominaremos Lo , Lc y Lg .

Lo es la onda de la señal de microondas al aire libre, o Lo (mm) = $300 / [f$ (GHz)].

Lc es la onda del extremo más bajo de la frecuencia, que depende solamente del diámetro del envase que hará de guía de onda: $Lc = 1,706 \times D$

Lg es la onda estacionaria dentro del envase, y es una función de Lo y Lc .

Una guía de ondas (el envase de papas fritas) con un extremo cerrado actúa de manera parecida a un cable coaxial haciendo cortocircuito. La señal de microondas entra en el envase, se refleja en el fondo, y forma lo que se conoce como "onda estacionaria" cuando las señales entrantes y las reflejadas entran en contacto, estas forman una señal que se amplifica o debilita.



Si con una sonda midiésemos la onda que entra y discurre a lo largo del envase, registraríamos unos valores máximos y mínimos cada cierto intervalo. Al chocar la onda en el fondo del envase, este valor sería cero; y lo mismo ocurriría cada $Lg/2$. El primer máximo se alcanzará a $Lg/4$ de distancia del fondo del envase. Este es el lugar ideal para colocar la salida hacia el coaxial. Como se podrá apreciar, la zona del máximo es bastante plana, así que el lugar de la salida no necesita calcularse milimétricamente.

Es importante recalcar que la onda estacionaria no es igual a Lo . Los tubos de guía grandes pueden llegar a ser casi equivalentes al aire libre, donde Lg y Lo son prácticamente iguales; pero cuando el diámetro del tubo disminuye, Lg comienza a incrementar hasta que llega un punto en que se hace infinito, que se corresponde con el diámetro del envase donde la señal de microondas no llega a entrar siquiera en el tubo. Por lo tanto, el envase "GuíaOndas" actúa como un filtro High Pass que limita la longitud de onda $Lc = 1.706 \times D$. Lo puede ser calculado a partir de la frecuencia nominal: $Lo \text{ (mm)} = 300/[f \text{ (GHz) }]$. Los valores inversos de Lo , Lc y Lg forman un triángulo de rectángulo donde se puede aplicar el teorema de Pitágoras:

$$(1/Lo)^2 = (1/Lc)^2 + (1/Lg)^2$$

Despejando, nos queda que:

$$Lg = 1 / \text{SQR}((1/Lo)^2 - (1/Lc)^2)$$

En el envase, el conector N está situado en el punto de máximo, que está a $Lg/4$ de distancia del fondo. La altura total del tubo se selecciona de manera que el próximo máximo coincida con el extremo abierto del envase, a $3/4Lg$ del fondo.

B.3 Construcción de la antena.

Luego de esto, es necesario reunir ciertos elementos y herramientas que utilizaremos para la construcción de la antena. Así podemos resumir la lista en la siguiente imagen;



Después de comprar las papas fritas “*Krispo Gigante*”, y obviamente vaciar el interior del envase, procedemos con el *pie de metro*, a medir desde el fondo del envase para marcar con un *lápiz de tinta permanente* Pentel M10 por ejemplo, el centro para hacer la perforación e instalar ahí el *Conector N Hembra Panel*. Siempre se debe tener en cuenta las medidas correspondientes, se debe utilizar un pie de metro.



Medir el diámetro de la base del conector y marcar la perforación con una *reglilla*. Determinar el punto centro es muy importante como lo podrá apreciar al terminar la secuencia de imágenes.



A continuación, medir el largo de la guía desde el fondo y marcar con el lápiz de tinta permanente. La medida para este caso es para el Canal 6 equivalente a 2,437 GHz. Con un *corta-cartón* cortar el envase. Al momento de cortar el cartón tenga cuidado que este se puede deformar, tenga PAZ-CIENCIA.



Después corte unos 20 mm desde la boca del pedazo restante es decir del lado en donde se pone la tapa plástica del envase y haga un corte transversal luego aplique **Cemento Caucho** a esta pieza y al extremo de la Guía.



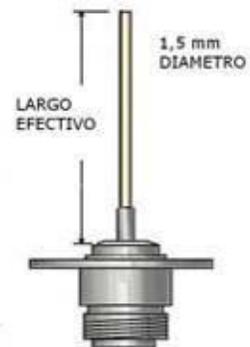
Pegar como indica la imagen y fijar con unas **pinzas para ropa**. Mientras el cemento caucho seca, con **un cautil de unos 80 Watt** bien caliente comience a hacer la perforación quemando desde el centro hacia fuera en la marca que corresponde a la perforación de la base del conector. **Hágalo con mucho cuidado para no dañar la Guía. Este paso también lo he realizado utilizando un taladro con una broca de la medida del conector y mucho cuidado.**



En las imágenes de izquierda a derecha podemos apreciar la perforación hecha con el cautil, se debe sacar con cuidado las rebabas de cartón quemado, se puede apreciar como queda dispuesto el conector y como se debe considerar el largo del elemento radiante de 1,5 mm de diámetro.



El material para este **elemento puede ser cobre o bronce** y la **soldadura** debe ser de buena calidad no utilice pasta para soldar. Corte el largo efectivo del elemento radiante utilice el pie de metro y un **buen alicate cortante**, acto seguido con **alcohol** limpie todo el Flux de la soldadura, el conector debe quedar limpio, es muy fácil que las microondas se atenúen o cortocircuiten por causa de la suciedad.



Con **cianocrilato** (Súper Bonder o La Gotita) impregne el canto de la perforación, cuando el cianocrilato se seque esto sellará el cartón y este no absorberá humedad en ese punto, también agregue cianocrilato por el borde del conector enseguida péguelo y déjelo fraguar unos 15 minutos, el conector quedará como se aprecia en la imagen central solamente pegado en su base y el flange estará separado un milímetro aproximadamente. Ya a estas alturas de nuestro trabajo podemos decir que tenemos una guía de ondas y solo falta darle la terminación.



Aplice **pegamento epóxico** o en su defecto silicona, por el contorno del flange del conector con **una espátula de madera** asegurándose que penetre bien bajo el flange, al momento que el pegamento aparezca por las perforaciones del flange, quiere decir que se ha llenado el espacio entre el cartón y el flange, deje fraguar por unos 30 minutos. También se puede apreciar que el pin axial del conector (el contacto del medio) esta en línea con la marca que hicieramos en un comienzo con el lápiz de tinta permanente.



Listo... y a realizar nuestras primeras pruebas. Primero establezca contacto con una estación distante unos 100 mts en lo posible con la antena original que trae su adaptador wireless o una antena de $\frac{1}{2}$ onda, de este modo podrá ver la señal en dBd. Por ejemplo $-xx$ dB de señal recibida. Después cambie la antena por la guía de ondas y vea la señal que obtiene. Por Ejemplo $-xxx$ dB. La ganancia será la diferencia en dBd entre al antena de $\frac{1}{2}$ onda y la guía de ondas

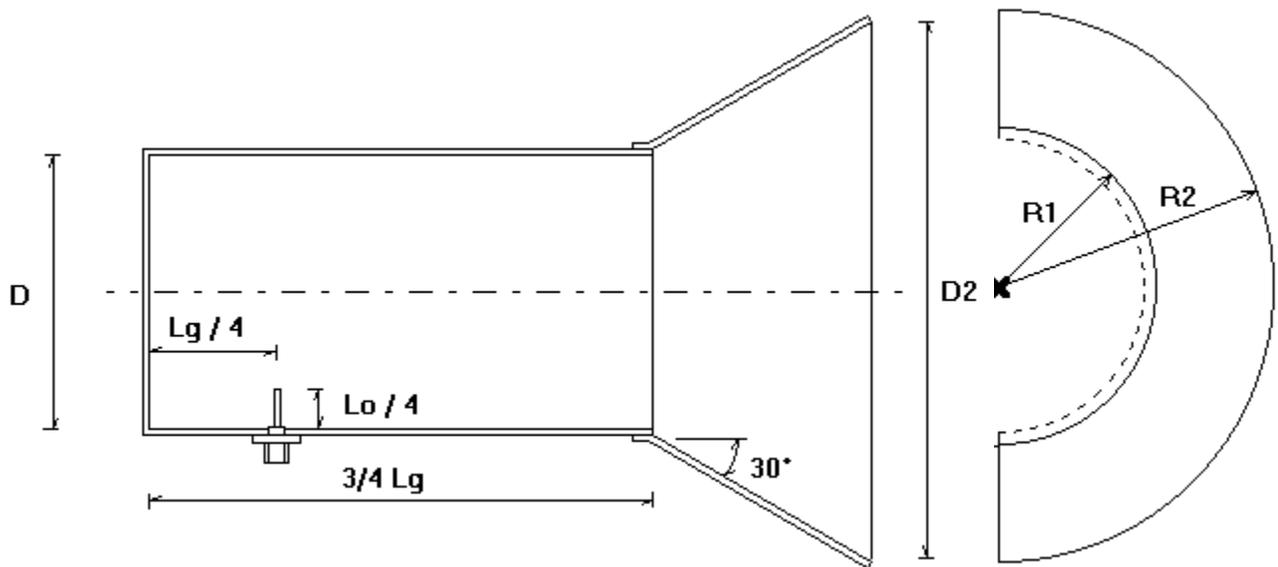


En tanto la siguiente figura muestra como se dispondría a conectar nuestra antena Krispo a adaptadores wireless del tipo PCI y PCMCIA respectivamente.



B.4 Versión mejorada.

La antena descrita anteriormente puede equiparse con un embudo que incrementará la sensibilidad de la misma al recolectar la señal hf de un área mayor. Este añadido multiplica la ganancia de la antena por dos (3db).



Para la realización de este embudo adicional recurrí al cartón aluminado por una de sus caras así, la imagen de la derecha muestra cómo debe cortarse este cartón para hacer el embudo. Las líneas de puntos muestran los márgenes necesarios para las juntas. Esta antena la hice a partir del mismo envase de papas fritas “Krispo”, con un diámetro $D = 100$ mm. Las dimensiones de la antena son, por lo tanto: $D = R1 = 100$ mm, $D2 = R2 = 170$ mm, $Lg/4 = 44$ mm, $Lo/4 = 31$ mm, $3/4 Lg = 132$ mm

Una vez cortado el cartón aluminado para el embudo, éste se añadió a la guía de ondas ya construida tal como lo vemos en la siguiente secuencia de imágenes:



Aplicamos pegamento caucho a lo que será la abrazadera del embudo y a la lengüeta sobrante del embudo para después pegar y dejar fraguar unos 20 minutos sujetando la abrazadera con los elásticos para billetes como en la figura:



B.5 Comentarios.

Espero que esto les sirva para ampliar sus conocimientos y habilidades. Por último si pasó una tarde entretenida haciendo este modesto proyecto creo que el objetivo se cumplió. Ahora si los resultados fueron buenos doblemente feliz estará usted. En tanto sólo queda agradecer a los gestores de la idea este modelo así como a mi amigo Gerardo Lobos quien me ayudó en la construcción y prueba de esta antena denominada “Antena Guía de Ondas KRISPO”