	<b>UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA</b>			
	Documento	Código	Fecha	Revisión
FORMATO HOJA DE RESUMEN PARA TRABAJO DE GRADO		F-AC-DBL-007	10-04-2012	A
DIVISIÓN DE BIBLIOTECA		Dependencia	Aprobado	Pág.
		SUBDIRECTOR ACADEMICO		1(87)

## RESUMEN – TRABAJO DE GRADO

AUTORES	<b>OSWALDO JOSE FORERO BLANCO</b>		
FACULTAD	<b>INGENIERIAS</b>		
PLAN DE ESTUDIOS	<b>TECNICO PROFESIONAL EN TELECOMUNICACIONES</b>		
DIRECTOR	<b>ESP. FABIAN CUESTA QUINTERO</b>		
TÍTULO DE LA TESIS	<b>PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA HACER RADIO ENLACES EN AMBIENTES ABIERTOS UTILIZANDO LA BANDA ISM</b>		
<b>RESUMEN</b> (70 palabras aproximadamente)			
<p><b>LA PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA HACER RADIO ENLACES EN AMBIENTES ABIERTOS UTILIZANDO LA BANDA ISM ES UN PROYECTO QUE SE HACE CON UN DOBLE FIN, UNO DE ELLOS ES EL INVESTIGAR SOBRE ESTE SISTEMA DE ENLACES QUE NOS FACILITA AL NO CRECIMIENTO DE INFRAESTRUCTURA DENTRO DE LAS ZONAS URBANAS YA QUE UTILIZAN ANTENAS PARA MANDAR LAS SEÑALES DE TV, RADIO, TELEFONÍA CELULAR, Y ESTO SE HACE DE FORMA INALÁMBRICA, LO QUE HACE NECESARIO LA UTILIZACIÓN DE RADIOENLACES.</b></p>			
<b>CARACTERÍSTICAS</b>			
PÁGINAS: 87	PLANOS:	ILUSTRACIONES:	CD-ROM:



**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA HACER RADIO ENLACES EN  
AMBIENTES ABIERTOS UTILIZANDO LA BANDA ISM**

**OSWALDO FORERO BLANCO**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
TÉCNICO PROFESIONAL EN TELECOMUNICACIONES  
OCAÑA  
2015**

**PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA HACER RADIO ENLACES EN  
AMBIENTES ABIERTOS UTILIZANDO LA BANDA ISM**

**OSWALDO FORERO BLANCO**

**Trabajo de grado presentado para obtener el título de Técnico Profesional en  
Telecomunicaciones**

**Director  
FABIÁN CUESTA QUINTERO  
Ingeniero de Sistemas**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER OCAÑA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
TÉCNICO PROFESIONAL EN TELECOMUNICACIONES  
OCAÑA  
2015**

## CONTENIDO

	Pág.
<b><u>1. TITULO</u></b>	13
<b><u>1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</u></b>	13
<b><u>1.2 FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</u></b>	13
<b><u>1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION</u></b>	14
1.3.1 General.	14
1.3.2 Específicos.	14
<b><u>1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION</u></b>	14
<b><u>1.5 DELIMITACION Y ALCANCES</u></b>	15
1.5.1 Operativa.	15
1.5.2 Conceptual.	15
1.5.3 Geográfica.	15
1.5.4 Temporal.	15
<b><u>2. MARCO DE REFERENCIA</u></b>	16
<b><u>2.1 ANTECEDENTES</u></b>	16
2.1.1 Reseña Histórica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.	16
2.1.2 Reseña Histórica de las Redes Inalámbricas.	16
2.1.3 A nivel Mundial.	20
2.1.4 A nivel Nacional.	20
2.1.5 A nivel Local.	21
<b><u>2.2 MARCO TEÓRICO</u></b>	21
2.2.1 Espectro Ensanchado.	21
2.2.2 Protocolo 802.11b.	29
2.2.3 Tecnologías inalámbricas.	34
2.2.4 Topología WLAN.	36
2.2.5 Capa de acceso al medio (MAC).	38
2.2.6 Tipos de propagación de las ondas de radio.	42
<b><u>2.3 MARCO CONCEPTUAL</u></b>	43
2.3.1 Exploración	43
2.3.2 Autenticación	44
2.3.3 Asociación.	45
2.3.4 Ondas electromagnéticas.	45
2.3.5 Bandas de Frecuencias.	46
2.3.6 Redes de Radiofrecuencias.	48
2.3.7 Radio Enlace.	49
2.3.8 Antenas.	50
<b><u>2.4 MARCO LEGAL</u></b>	51
<b><u>3. DISEÑO METODOLÓGICO</u></b>	53
<b><u>3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN</u></b>	53
<b><u>3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</u></b>	53
<b><u>3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA</u></b>	53

3.3.1 Población Universo.	53
3.3.2 Muestra.	53
<b><u>3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN</u></b>	<b>54</b>
3.4.1 Resultados Encuesta a estudiantes	54
<b><u>4. MODELOS DE PROPAGACIÓN</u></b>	<b>58</b>
<b><u>4.1 MODELOS EMPÍRICOS</u></b>	<b>58</b>
4.1.1 Modelo De Okumura.	60
4.1.2 Modelo Hata.	62
<b><u>4.2 MODELOS SEMI-EMPIRICOS</u></b>	<b>62</b>
4.2.1 El Modelo Egli.	63
4.2.2 Modelo De Walfisch.	64
4.2.3 Modelo Ikegami.	64
4.2.4 Modelo Cost 231 Walfisch-Ikegami.	65
4.2.5 Modelo Longley – Rice.	67
<b><u>4.3 MODELOS DETERMINISTAS</u></b>	<b>67</b>
4.3.1 Modelo de propagación en espacio libre – ecuación de FRIIS.	68
4.3.2 Modelo difracción por objetos delgados (filo de cuchilla).	68
4.3.3 Modelo de dos Rayos.	70
<b><u>5. METODOLOGÍA PROPUESTA</u></b>	<b>71</b>
<b><u>5.1 PRIMERA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA VISTA</u></b>	<b>71</b>
5.1 Evaluación física.	71
5.1.1 Estaciones de telecomunicaciones cercanas.	72
5.1.2 Condiciones ambientales promedio.	72
5.1.3 Disponibilidad de servicios públicos.	73
5.1.4 Facilidades de acceso al lugar.	73
5.1.5 Factores que repercuten en la eficiencia del radio enlace.	73
<b><u>5.2 SEGUNDA ETAPA: CÁLCULO MATEMÁTICO</u></b>	<b>75</b>
5.2.1 Zona de Fresnel.	76
5.2.2 Nivel de recepción mínima en B (en dB)	78
<b><u>6. CASO DE ESTUDIO</u></b>	<b>79</b>
<b><u>6.1 PRIMERA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA VISTA</u></b>	<b>79</b>
6.1.1 Evaluación física.	79
6.1.2 Estaciones de telecomunicaciones cercanas.	80
6.1.3 Condiciones ambientales promedio.	81
6.1.4 Disponibilidad de servicios públicos.	81
6.1.5 Facilidades de acceso al lugar.	81
<b><u>6.2 SEGUNDA ETAPA: CÁLCULO MATEMÁTICO</u></b>	<b>81</b>
6.2.1 Pérdida de propagación.	81
6.2.2 Zona de Fresnel.	82
6.2.3 Nivel de recepción mínima en B (en dB)	82
<b><u>CONCLUSIONES</u></b>	<b>84</b>

<b><u>RECOMENDACIONES</u></b>	<b>85</b>
<b><u>BIBLIOGRAFÍA</u></b>	<b>86</b>
<b><u>REFERENCIAS ELECTRONICAS</u></b>	<b>87</b>
<b><u>ANEXOS</u></b>	<b>88</b>

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Modelo de Encuesta realizada a los estudiantes	86
Anexo B. Nanobridge 5GHz	87

## LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Espectro y ancho de banda en 802.11b.	29
Tabla 2. Tablas de canales regulados	30
Tabla 3. Patrón Dibit en modulación CCK a 5.5 Mbps.	31
Tabla 4. Patrón Dibit en modulación CCK a 11 Mbps.	31
Tabla 5. Bandas del espectro	47
Tabla 6. Le gustaría tener una metodología de radio enlaces que sirva como complemento a la asignatura de comunicaciones inalámbricas del Técnico Profesional en Telecomunicaciones?	52
Tabla 7. Ve la transmisión de información a través de radio enlaces como una tecnología futurista u obsoleta?	53
Tabla 8. Cree que los técnicos deben apostarle a la creación de manuales o metodologías para un mejor aprendizajes?	53
Tabla 9. Alturas sobre el nivel de los nodos	69
Tabla 10. Interpretación del cuadro	69
Tabla 11. Estaciones de telecomunicaciones cercanas	69
Tabla 12. Relación entre modelos de cable LMR y pérdida de señal / metro longitudinal a una frecuencia de 2.4GHz	71
Tabla 13. Relación de frecuencias y canales	73
Tabla 14. Alturas sobre el nivel de los nodos	77
Tabla 15. Interpretación del cuadro	77
Tabla 16. Estaciones de telecomunicaciones cercanas	77
Tabla 17. Cálculo del radio enlace 1	79



## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Secuencia Barker	22
Figura 2. Comparación de una señal en banda estrecha con una señal modulada en secuencia directa.	23
Figura 3. Secuencia directa.	24
Figura 4. Transmisor	24
Figura 5. Ensanchado mediante código de pseudo-ruido.	25
Figura 6. Ejemplo de ensanchado en una modulación DSSS.	25
Figura 7. Efecto cerca-lejos.	27
Figura 8. Efecto cerca-lejos.	28
Figura 9. Canales no sobrepuestos.	32
Figura 10. Canales sobrepuestos.	33
Figura 11. Tecnologías Inalámbricas	34
Figura 12. Topología Ad-Hoc	36
Figura 13. Topología Infraestructura	36
Figura 14. Modo escucha en CSMA/CA 1	39
Figura 15. Modo escucha en CSMA/CA 2	40
Figura 16. Tipos de Propagación	41
Figura 17. Campos involucrados en las ondas electromagnéticas	44
Figura 18. Ondas Electromagnéticas	44
Figura 19. Radio Enlace	48
Figura 20. Diagrama de la legislación en telecomunicaciones en Colombia	50
Figura 21. Le gustaría tener una metodología de radio enlaces que sirva como complemento a la asignatura de comunicaciones inalámbricas del técnico profesional en telecomunicaciones	52
Figura 22. Ve la transmisión de información a través de radio enlaces como una tecnología futurista u obsoleta	53
Figura 23. Cree que los técnicos deben apostarle a la creación de manuales o metodologías para un mejor aprendizaje.	54
Figura 24. Modelos de Propagación	55
Figura 25. Esquema de los modelos de propagación	56
Figura 26. Pérdidas en los enlaces por Okumura	57
Figura 27. Rango de validez del modelo Hata	58
Figura 28. Modelo De Walfisch.	61
Figura 29. Modelo Ikegami	62
Figura 30. Modelo Longley – Rice	64
Figura 31. Filo de cuchilla	65
Figura 32. Ecuaciones del cálculo de las pérdidas	66
Figura 33. Modelo de dos Rayos	67
Figura 34. Modelo de dos Rayos	67
Figura 35. Zona Fresnel	73

Figura 36. Puntos o nodos a interconectar  
Figura 37. Perfil de elevación

76  
80

## 1. TITULO

PROPUESTA DE UNA METODOLOGÍA PARA HACER RADIO ENLACES EN AMBIENTES ABIERTOS UTILIZANDO LA BANDA ISM.

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Si los terminales son fijos, el servicio se le denomina como tal y si algún terminal es móvil, se le denomina dentro de los servicios de esas características. Se puede definir al radio enlace del servicio fijo, como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía<sup>1</sup>.

Es mucha la información que podría abordarse a cerca de los radioenlaces y que es fundamental tener en cuenta al momento de llevar a cabo esta actividad, para no incurrir en pérdidas económicas, pérdida de tiempo, incluso implicaciones legales, entre otras, que muy comúnmente se observa pasa en los ámbitos en los que nos desenvolvemos, como la universidad, en la comunidad, en las organizaciones, etc.

Por lo tanto, surge la iniciativa de diseñar una metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM, siendo esta una potencia libre dispuesta por el Ministerio de las Tics, que permita disponer de toda la información necesaria para realizar este tipo de conexiones y evitarnos inconvenientes posteriores.

### 1.2 FORMULACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

¿De qué manera incide en los estudiantes de técnico en telecomunicaciones la propuesta de una metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM?

### 1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

**1.3.1 General.** Proponer una metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM.

#### **1.3.2 Específicos.**

Mencionar como mínimo dos modelos de propagación en ambientes abiertos.

---

<sup>1</sup> [www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html](http://www.radiocomunicaciones.net/radio-enlaces.html)

Describir las actividades de la metodología propuesta a tener en cuenta en los radio enlaces, en ambientes abiertos.

Realizar un caso de estudio donde se pueda desarrollar la metodología propuesta.

Entregar la documentación como aporte académico, de consulta y apoyo a futuras investigaciones en el área de telecomunicaciones.

## **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACION**

Cada día se hacen más frecuentes los servicios de comunicaciones que usan antenas para mandar señales de radio, TV, telefonía celular, Internet, etc., pues ya todo es inalámbrico. Esto implica el incremento de antenas y para no saturar las ciudades con torres de metal, los gobiernos obligan a las organizaciones a instalarlas fuera del perímetro urbano; lo que hace necesario, entre otros mecanismos, la utilización de radioenlaces.

Multimillonarias son las pérdidas que muchas organizaciones han tenido que pagar por invadir espacio electromagnético prohibido, por tener que rehacer una conexión de comunicaciones ya diseñada e implementada, por la compra de dispositivos no aptos, por demora en los tiempos de entrega de diferentes proyectos asociados a las telecomunicaciones, en fin, y todo se resume en el desconocimiento que muchas personas poseen al momento de llevar a cabo una actividad de las mencionadas.

Los aspectos son múltiples y mediante el presente proyecto se busca se puedan consolidar a través de un documento, una metodología que describa la forma como debe hacerse radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM, siendo uno de los mecanismos más comunes y utilizados por la sociedad colombiana.

Por lo tanto, se propone una metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM, que además de lo mencionado, permita la aplicación de los conocimientos adquiridos en la asignatura comunicaciones inalámbricas durante la formación de Técnicos Profesionales en Telecomunicaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

## **1.5 DELIMITACION Y ALCANCES**

**1.5.1 Operativa.** Este proyecto se limita a proponer una metodología que sirva como guía de referencia para los estudiantes del Técnico Profesional en Telecomunicaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander de Ocaña en lo referente a radio enlaces en bandas ISM y más específicamente en la frecuencia 2.4 GHz. No incluye la implementación de la metodología.

**1.5.2 Conceptual.** Para la elaboración adecuada del proyecto se tuvieron en cuenta los siguientes conceptos: propagación de ondas de radio, interferencia, Ondas

electromagnéticas, Zona Fresnel, Radio Enlace, Antenas, estándar 802.11, espectro electromagnético, Conectores, fenómenos ópticos. .

**1.5.3 Geográfica.** El lugar donde se llevó a cabo el proyecto fue la ciudad de Ocaña, Norte de Santander.

**1.5.4 Temporal.** La realización del proyecto presupone un tiempo máximo de ocho (8) semanas calendario, a partir de la aprobación del anteproyecto.

## 2. MARCO DE REFERENCIA

### 2.1 ANTECEDENTES

**2.1.1 Reseña Histórica de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.** “Alma Mater” de la zona del Catatumbo y Nororiente colombiano, nace como una opción de Educación Superior, para los estudiantes de la provincia de Ocaña y su zona de influencia (Sur del Cesar y Sur de Bolívar) a partir del Acuerdo N° 03 del 18 de julio de 1974, por parte del Consejo Superior de la Universidad Francisco de Paula Santander Cúcuta (UFPS).

La UFPSO, como Universidad del estado, ha asumido su responsabilidad ante la nación, liderando la formación de las comunidades académicas de su región; frente al desarrollo nacional, ha sido consciente de su papel de integrar elementos humanos competitivos, bajo una perspectiva de equidad nacional. Nuestra Institución, se encuentra enclavada en una zona considerada de extrema pobreza, especialmente en lo que hace referencia al Sur del Cesar, Bolívar y la Provincia de Ocaña, lo que trae consigo problemas de orden social y la presencia en la región de grupos armados al margen de la Ley, que aprovechan estas condiciones para montar sus feudos. Más allá de éste controvertido mundo de penurias económicas y de carácter social, la Universidad, sigue buscando cada día poder cumplir con sus funciones tanto individuales como sociales; las individuales hacen referencia a la fundamentación de sus estudiantes, mirando sus responsabilidades directas con sus necesidades de socialización, transmisión de la cultura, desarrollo de su personalidad, formación para el trabajo y preparación para la ciencia y la tecnología. En lo atinente a las sociales, es más su compromiso con el Estado, puesto que mira el papel que sobre el valor estratégico tiene la educación para el desarrollo económico, la identidad y construcción del sentido de nación y la equidad y superación de la pobreza.

**2.1.2 Reseña Histórica de las Redes Inalámbricas.** Aun cuando fueron necesarios muchos descubrimientos en el campo de la electricidad hasta llegar a la radio, su nacimiento data en realidad de 1873, año en el que el físico británico James Clerk Maxwell publicó su teoría sobre las ondas electromagnéticas.

**Finales del siglo XIX.** La teoría de Maxwell se refería sobre todo a las ondas de luz; quince años más tarde, el físico alemán Heinrich Hertz logró generar eléctricamente tales ondas. Suministró una carga eléctrica a un condensador y a continuación le hizo un cortocircuito mediante un arco eléctrico. En la descarga eléctrica resultante, la corriente saltó desde el punto neutro, creando una carga de signo contrario en el condensador, y después continuó saltando de un polo al otro, creando una descarga eléctrica oscilante en forma de chispa. El arco eléctrico radiaba parte de la energía de la chispa en forma de ondas electromagnéticas. Hertz consiguió medir algunas de las propiedades de estas ondas "hercianas", incluyendo su longitud y velocidad.

La idea de utilizar ondas electromagnéticas para la transmisión de mensajes de un punto a otro no era nueva; el heliógrafo, por ejemplo, transmitía mensajes por medio de un haz de rayos luminosos que se podía modular con un obturador para producir señales en forma de los puntos y las rayas del código Morse. A tal fin la radio presenta muchas ventajas sobre la luz, aunque no resultasen evidentes a primera vista. Las ondas de radio, por ejemplo, pueden cubrir distancias enormes, a diferencia de las microondas (usadas por Hertz).

Las ondas de radio pueden sufrir grandes atenuaciones y seguir siendo perceptibles, amplificables y detectadas; pero los buenos amplificadores no se hicieron una realidad hasta la aparición de las válvulas electrónicas. Por grandes que fueran los avances de la radiotelegrafía (por ejemplo, en 1901 Marconi desarrolló la comunicación transatlántica), la radiotelefonía nunca habría llegado a ser útil sin los avances de la electrónica. Desde el punto de vista histórico, el desarrollo en el mundo de la radio y en el de la electrónica ha ocurrido de forma simultánea.

Para detectar la presencia de la radiación electromagnética, Hertz utilizó un aro parecido a las antenas circulares. En aquella época, el inventor David Edward Hughes había descubierto que un contacto entre una punta metálica y un trozo de carbón no conducía la corriente, pero si hacía circular ondas electromagnéticas por el punto de contacto, éste se hacía conductor. En 1879 Hughes demostró la recepción de señales de radio procedentes de un emisor de chispas alejado un centenar de metros. En dichos experimentos hizo circular una corriente de una célula voltaica a través de una válvula rellena de limaduras de cinc y plata, que se aglomeraban al ser bombardeadas con ondas de radio.

Este principio lo utilizó el físico británico Oliver Joseph Lodge en un dispositivo llamado cohesor para detectar la presencia de ondas de radio. El cohesor, una vez hecho conductor, se podía volver a hacer aislante golpeándolo y haciendo que se separasen las partículas. Aunque era mucho más sensible que la bocina en ausencia de amplificador, el cohesor sólo daba una única respuesta a las ondas de radio de suficiente potencia de diversas intensidades, por lo que servía para la telegrafía, pero no para la telefonía.

El ingeniero electrotécnico e inventor italiano Guglielmo Marconi está considerado universalmente el inventor de la radio. A partir de 1895 fue desarrollando y perfeccionando el cohesor y lo conectó a una forma primitiva de antena, con el extremo conectado a tierra. Además mejoró los osciladores de chispa conectados a antenas rudimentarias. El transmisor se modulaba mediante una clave ordinaria de telégrafo. El cohesor del receptor accionaba un instrumento telegráfico que funcionaba básicamente como amplificador. En 1896 consiguió transmitir señales desde una distancia de 1,6 Km., y registró su primera patente inglesa. En 1897 transmitió señales desde la costa hasta un barco a 29 Km. en alta mar. Dos años más tarde logró establecer una comunicación comercial entre Inglaterra y Francia capaz de funcionar con independencia del estado del tiempo; a principios de 1901 consiguió a más de 322 Km. de distancia, y a finales de ese mismo año transmitió una carta entera de un lado a otro del océano Atlántico. En 1902 ya se enviaban de forma regular mensajes transatlánticos y en 1905 muchos barcos llevaban equipos de radio para comunicarse con emisoras de costa. Como reconocimiento a sus trabajos en el campo de la

telegrafía sin hilos, en 1909 Marconi compartió el Premio Nobel de Física con el físico alemán Karl Ferdinand Braun.

A lo largo de todos estos años se introdujeron diferentes mejoras técnicas. Para la sintonía se utilizaron circuitos resonantes dotados de inductancia y capacitancia. Las antenas se fueron perfeccionando, descubriéndose y aprovechándose sus propiedades direccionales. Se utilizaron los transformadores para aumentar el voltaje enviado a la antena. Se desarrollaron otros detectores para complementar al cohesor y su rudimentario descohesor. Se construyó un detector magnético basado en la propiedad de las ondas magnéticas para desmagnetizar los hilos de acero, un holómetro que medía el aumento de temperatura de un cable fino cuando lo atravesaban ondas de radio y la denominada válvula de Fleming, precursora de la válvula termoiónica o lámpara de vacío.

**Siglo XX.** El desarrollo de la válvula electrónica se remonta al descubrimiento que hizo el inventor estadounidense Thomas Alba Edison al comprobar que entre un filamento de una lámpara incandescente y otro electrodo colocado en la misma lámpara fluye una corriente y que además sólo lo hace en un sentido. La válvula de Fleming apenas difería del tubo de Edison. Su desarrollo se debe al físico e ingeniero eléctrico inglés John Ambrose Fleming en 1904 y fue el primer diodo, o válvula de dos elementos, que se utilizó en la radio. El tubo actuaba de detector, rectificador y limitador.

En 1906 se produjo un avance revolucionario, punto de partida de la electrónica, al incorporar el inventor estadounidense Lee de Forest un tercer elemento, la rejilla, entre el filamento y el cátodo de la válvula. El tubo de De Forest, que bautizó con el nombre de audión y que actualmente se conoce por tríodo (válvula de tres elementos), en principio sólo se utilizó como detector, pero pronto se descubrieron sus propiedades como amplificador y oscilador; en 1915 el desarrollo de la telefonía sin hilos había alcanzado un grado de madurez suficiente como para comunicarse entre Virginia y Hawai (Estados Unidos) y entre Virginia y París (Francia).

Las funciones rectificadoras de los cristales fueron descubiertas en 1912 por el ingeniero eléctrico e inventor estadounidense Greenleaf Whittier Pickard, al poner de manifiesto que los cristales se pueden utilizar como detectores. Este descubrimiento permitió el nacimiento de los receptores con detector de cristal, tan populares en la década de los años veinte. En 1912, el ingeniero eléctrico estadounidense Edwin Howard Armstrong descubrió el circuito reactivo, que permite realimentar una válvula con parte de su propia salida. Éste y otros descubrimientos de Armstrong constituyen la base de muchos circuitos de los equipos modernos de radio.

En 1902, el ingeniero estadounidense Arthur Edwin Kennelly y el físico británico Oliver Heaviside (de forma independiente y casi simultánea) proclamaron la probable existencia de una capa de gas ionizado en la parte alta de la atmósfera que afectaría a la propagación de las ondas de radio. Esta capa, bautizada en principio como la capa de Heaviside o Kennelly-Heaviside, es una de las capas de la ionosfera. Aunque resulta transparente para



las longitudes de onda más cortas, desvía o refleja las ondas de longitudes más largas. Gracias a esta reflexión, las ondas de radio se propagan mucho más allá del horizonte.

Y a mediados de este siglo se produjo, lo que se consideraría el avance de los avances, con la aparición de los semiconductores, y con este un elemento nuevo que revolucionó la electrónica hasta nuestros días, el transistor, el cual partiendo de las propiedades de materiales químicos semiconductores –como el silicio y el germanio- disminuyó en gran medida el tamaño de los equipos, el consumo y mejoró el rendimiento de los mismos, así como la vida útil de los equipos y el costo de producción.

La propagación de las ondas de radio en la ionosfera se ve seriamente afectada por la hora del día, la estación y la actividad solar. Leves variaciones en la naturaleza y altitud de la ionosfera, que tienen lugar con gran rapidez, pueden afectar la calidad de la recepción a gran distancia. La ionosfera es también la causa de un fenómeno por el cual se recibe una señal en un punto muy distante y no en otro más próximo. Este fenómeno se produce cuando el rayo en tierra ha sido absorbido por obstáculos terrestres y el rayo propagado a través de la ionosfera no se refleja con un ángulo lo suficientemente agudo como para ser recibido a distancias cortas respecto de la antena.

**Radio de onda corta.** Aun cuando determinadas zonas de las diferentes bandas de radio, onda corta, onda larga, onda media, frecuencia muy alta y frecuencia ultra alta, están asignadas a muy diferentes propósitos, la expresión "radio de onda corta" se refiere generalmente a emisiones de radio en la gama de frecuencia altas (3 a 30 MHz) que cubren grandes distancias, sobre todo en el entorno de las comunicaciones internacionales. Sin embargo, la comunicación mediante microondas a través de un satélite de comunicaciones, proporciona señales de mayor fiabilidad y libres de error.

Por lo general se suele asociar a los radioaficionados con la onda corta, aunque tienen asignadas frecuencias en la banda de onda media, la de muy alta frecuencia y la de ultra alta, así como en la banda de onda corta. Algunas conllevan ciertas restricciones pensadas para que queden a disposición del mayor número posible de usuarios.

Durante la rápida evolución de la radio tras la I Guerra Mundial, los radioaficionados lograron hazañas tan espectaculares como el primer contacto radiofónico (1921) trasatlántico. También han prestado una ayuda voluntaria muy valiosa en caso de emergencias con interrupción de las comunicaciones normales. Ciertas organizaciones de radioaficionados han lanzado una serie de satélites aprovechando los lanzamientos normales de Estados Unidos, la antigua Unión Soviética y la Agencia Espacial Europea (ESA). Estos satélites se denominan normalmente Oscar (Orbiting Satellites Carrying Amateur Radio). El primero de ellos, Oscar 1, colocado en órbita en 1961, fue al mismo tiempo el primer satélite no gubernamental; el cuarto, en 1965, proporcionó la primera comunicación directa vía satélite entre Estados Unidos y la Unión Soviética. A principios

de la década de 1980 había en todo el mundo más de 1,5 millones de licencias de radioaficionados, incluidos los de la radio de banda ciudadana<sup>2</sup>.

**2.1.3 A nivel Mundial.** A continuación se plantean algunos proyectos desarrollados a nivel mundial, relacionados con el presente proyecto:

LUQUES, Marcelo Redes Wireless – Tecnología MIMO – Análisis y performance del Estándar de Comunicaciones Inalámbricas 802.11n, Facultad de Informática Universidad Nacional de La Plata, Junio 2009

CASTILLO ORIHUELA Juan Manuel diseño de una red inalámbrica de banda ancha para un entorno rural ingeniería de telecomunicación. Málaga, 2008

GARCÍA FERNÁNDEZ, Néstor, modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo, Oviedo, marzo de 2006

**2.1.4 A nivel Nacional.** Con relación al presente trabajo se cuenta con los siguientes referentes nacionales:

MILLÁN, Andrés F., DAZA Ronald., CAMPIÑO, James. Estudio de los puntos de acceso inalámbricos 802.11 en la ciudad de Cali usando las técnicas WAR-X [CD-ROM], Santiago de Cali. Sistemas & Telemática, mar. 2006.

VILLA AVILA, Luis Hernando, VILLANUEVA VIVAS, Jhorman Andres, diseño e implementación de un ISP con acceso inalámbrico para soportar servicios de internet y telefonía IP en el laboratorio de telecomunicaciones de la Universidad Autónoma de Occidente, Santiago de Cali, 2013.

**2.1.5 A nivel Local.** Ya son más notables las estructuras que soportan radio enlaces en la ciudad, se pueden evidenciar a los proveedores de servicios de internet como TV San Jorge, Emsitel LTDA, Funtic, incluso la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña a través del proyecto de extensión Norte de Santander Vive Digital.

TORRADO CARRASCAL Jorge Luis, HOYOS SOLANO Martin Silfredo, análisis y diseño de un circuito cerrado de televisión con cámaras IP mediante un radio enlace entre el cuarto de telecomunicaciones ubicado en el barrio Juan XXIII y el almacén “la provincia” en el barrio dulce nombre de Ocaña, norte de Santander [CD-ROM], 2013

## 2.2 MARCO TEÓRICO

Las teorías seleccionadas que respaldan esta propuesta se describen a continuación:

---

<sup>2</sup> TANENBAUM, Andrew S. Redes de computadoras. 4ª edición. España: Pearson. 2003. ISBN 9789702601623. p. 8.

**2.2.1 Espectro Ensanchado.** 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.

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).

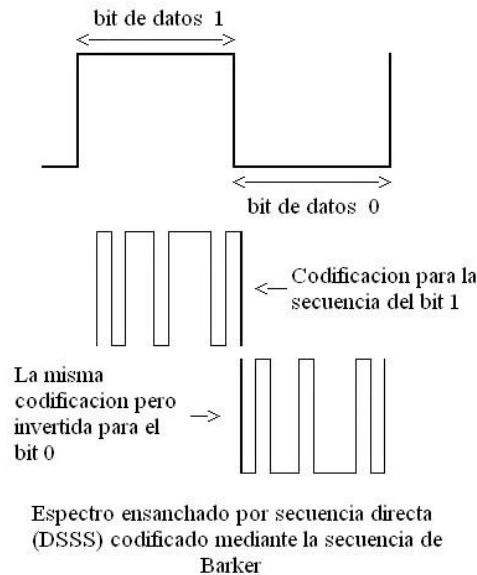
**Tecnología de Espectro Ensanchado por Secuencia Directa (DSSS).** El espectro ensanchado por secuencia directa (del inglés direct sequence spread spectrum o DSSS), también conocido en comunicaciones móviles como DS-SS (acceso múltiple por división de código en secuencia directa), es uno de los métodos 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 1. Secuencia Barker**



Fuente. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

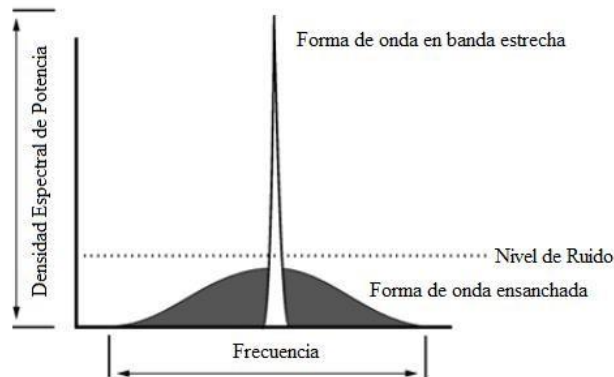
Esta es una secuencia de 11 *chip*. En la figura anterior, se muestra el aspecto de una señal de dos bits a la cual se le ha aplicado la secuencia de Barker.

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 2. Comparación de una señal en banda estrecha con una señal modulada en secuencia directa.**



Fuente: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

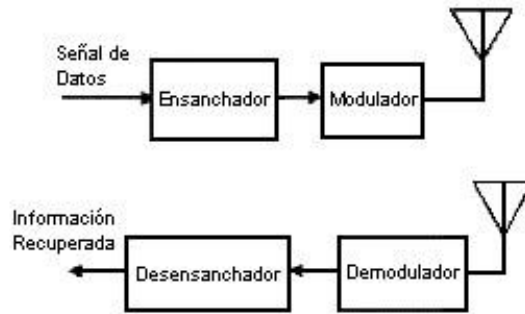
La figura anterior es una comparación de una señal en banda estrecha con una señal modulada en secuencia directa. La señal en banda estrecha se suprime al transmitir el espectro ensanchado.

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 la siguiente figura.

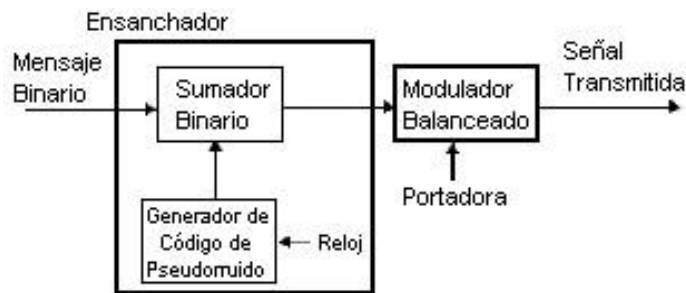
**Figura 3. Secuencia directa.**



Fuente. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

**El transmisor.** En la siguiente figura representa el diagrama de bloques de un transmisor en secuencia directa, pero esta vez se han detallado los componentes que lo constituyen:

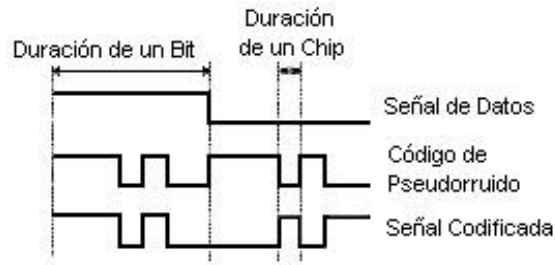
**Figura 4. Transmisor**



Fuente. <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

**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 pseudoruido se suma en módulo 2 con el mensaje binario que contiene la información que queremos transmitir, como se muestra en la siguiente figura.

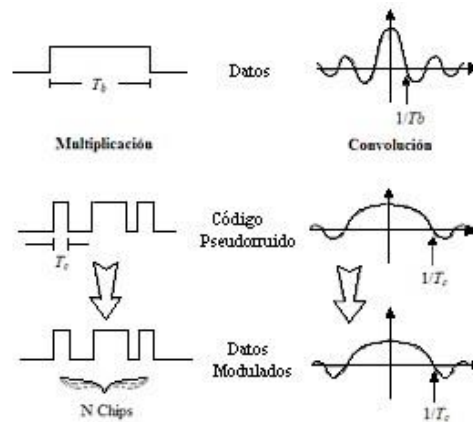
**Figura 5. Ensanchado mediante código de pseudo-ruido.**



<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

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. 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 6. Ejemplo de ensanchado en una modulación DSSS.**



<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

**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.

**El receptor.** La recepción de la señal se realiza siguiendo los pasos inversos al proceso de modulación:

- ✓ Se recibe la portadora y se amplifica
  
- ✓ La señal recibida se mezcla con una portadora local (como en cualquier proceso normal de demodulación) para recuperar la señal ensanchada.
  
- ✓ 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 siguiente.



**Figura 7. Efecto cerca-lejos.**



<http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

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.

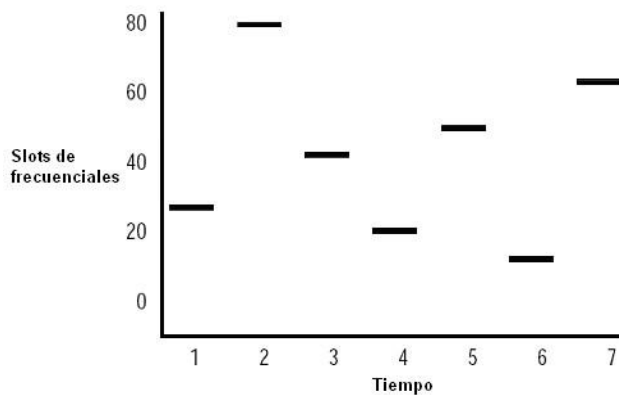
**Tecnología de Espectro Ensanchado por Salto en Frecuencia (FHSS).** El salto de frecuencia (FHSS), la segunda técnica importante de transmisión de espectro de extensión, es de hecho una señal de banda estrecha que cambia la frecuencia de un modo rápido y continuo.

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.

**Figura 8. Efecto cerca-lejos.**



Fuente: <http://grouper.ieee.org/groups/802/11/index.html>

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.<sup>3</sup>

**2.2.2 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-escritibles como las E<sup>2</sup>ROM 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

<sup>3</sup> RON OLEXA Implementing 802.11, 802.16 and 802.20 Wireless Networks, by. Editorial Elsevier. 2005

acuerdo a la recepción del equipo que según la marca varia, por ejemplo  $-80\text{dBm}$  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.

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

**Tabla 1. Espectro y ancho de banda en 802.11b.**

<b>REGION</b>	<b>ESPECTRO USADO</b>	<b>BW</b>
<b>U.S.A.</b>	2.4000 – 2.4835 GHz.	83.5 MHz.
<b>Europa</b>	2.4000 – 2.4835 GHz.	83.5 MHz.
<b>Japón</b>	2.4000 – 2.497 GHz.	97 MHz.
<b>Francia</b>	2.4465 – 2.4835 GHz.	37 MHz.
<b>España</b>	2.4450 – 2.4750 GHz.	30 MHz.

Fuente. <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

**Tabla 2. Tablas de canales regulados**

TABLA DE CANALES REGULADOS							
N° de Canal	Frecuencia (MHz.)	FCC USA. Colombia	IC Canadá	ETSI Europa	España	Francia	Japón
1	2412	X	X	X			X
2	2417	X	X	X			X
3	2422	<b>X</b>	<b>X</b>	<b>X</b>			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	<b>X</b>	X
12	2467			X		X	X
13	2472			X		X	X
14	2484						<b>X</b>

Fuente. <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

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..

**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 está 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  $C = \{c_0 \text{ a } c_7\}$ , el cuarto y séptimo símbolo son rotados en  $180^\circ$  para una cobertura de secuencia y para optimizar las propiedades de correlación de la secuencia.

**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).

**Tabla 3. Patrón Dibit en modulación CCK a 5.5 Mbps.**

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

Fuente. <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

**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  $\phi_1$  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  $\phi_2$ ,  $\phi_3$  y  $\phi_4$  respectivamente, basados en un método QPSK que apreciaremos en la tabla siguiente.

**Tabla 4. Patrón Dibit en modulación CCK a 11 Mbps.**

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

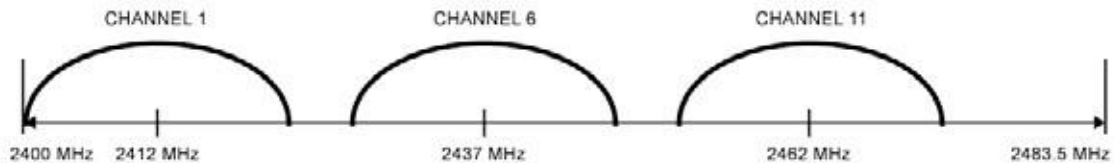
Fuente. <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

**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.

**Uso de auto FALL-BACK.** En la mayoría de los sistemas 802.11b está la opción de usar el sistema de FallBack, 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.

**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 está coordinado por la subcapa MAC, en la (figura 20) se aprecian los canales no sobrepuestos para USA y Colombia. 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.

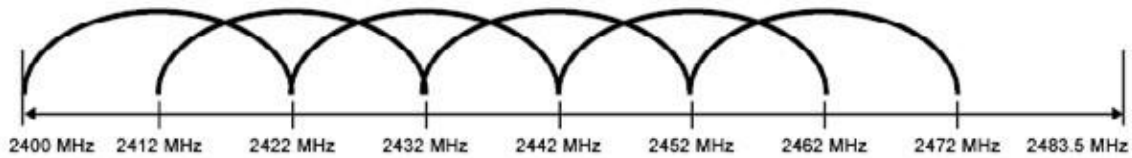
**Figura 9. Canales no sobrepuestos.**



Fuente. <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

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  $\pm 5$  MHz como se aprecia en la siguiente figura, donde un canal se encuentra debajo del otro.

**Figura 10. Canales sobrepuestos.**



Fuente: <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

**2.2.3 Tecnologías inalámbricas.** Gracias a la aparición y al éxito de los protocolos de comunicación inalámbrica se ha producido una gran difusión en la utilización de dichas redes, debido fundamentalmente a la interoperabilidad del equipamiento producido por distintos fabricantes. Esto ha promovido que se desarrollen productos de manera veloz, haciendo además que los precios se hayan visto disminuidos gracias al volumen de producción.

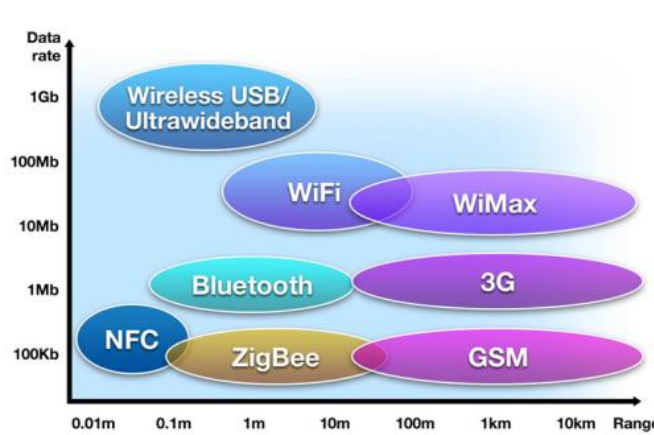
Las diferentes tecnologías inalámbricas se suelen agrupar basándose en el radio de acción de cada una de ellas:

- **Redes inalámbricas de área extensa (WWAN, Wireless Wide Área Network):** Son el tipo de redes que tienen una cobertura más amplia. La familia de estándares IEEE 802.20 o UMTS son los más representativos de este tipo de redes.
- **Redes inalámbricas de área metropolitana (WMAN, Wireless Metropolitan Area Network):** Tienen un rango de acción promedio de unos 20 Km, y el estándar más destacado en este campo es el 802.16 (WiMAX).
- **Redes inalámbricas de área local (WLAN, Wireless Local Área Network):** Pensadas para cubrir áreas de unos pocos centenares de metros, son las que mayor impulso han tenido gracias al estándar IEEE 802.11 (WiFi) y sus numerosas variantes<sup>4</sup>.
- **Redes inalámbricas de área personal (WPAN, Wireless Personal Área Network):** Son las que tienen un rango de acción limitado, estando este restringido a unas decenas de metros. El estándar más representativo es el IEEE 802.15.1 (Bluetooth).
- **Redes inalámbricas de área corporal (WBAN, Wireless Body Area Network):** Tienen rango de acción muy limitado, y está constituida por sensores que se implantan o que son acoplados de alguna manera al cuerpo humano, y que monitorizan parámetros

<sup>4</sup>FOROUZAN, Behrouz A. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 2a ed, Mc Graw Hill, 2002

vitales. Estos parámetros son enviados de forma inalámbrica a una estación base, desde la cual se toman estos datos para analizarlos. Unos de los estándares utilizados es el IEEE 802.15.4 (Zigbee).

**Figura 11. Tecnologías Inalámbricas**



Fuente. Disponible en: <http://especiales.laprensagrafica.com/2013/diadeinternet/2013/04/22>

Algunas de las ventajas de las redes inalámbricas son:

- **Flexibilidad:** Son flexibles ya que nos permiten interconectar ubicaciones complicadas, y que además de puede ajustar de manera sencilla a los requerimientos impuestos.
- **Escalabilidad:** Esta cualidad se refiere a la posibilidad de adaptar y ampliar rápidamente las cualidades de la red en lo que a cobertura y ancho de banda se refiere.
- **Rapidez de despliegue:** El despliegue de una red inalámbrica suele ser por lo general bastante rápido, sobre todo si existe ya un equipamiento o una infraestructura previa (torres de comunicación, farolas, depósitos de agua ubicados a grandes alturas) que pueda ser aprovechada para llevar a cabo la instalación.
- **Costes reducidos:** Dependerá del caso, pero en general resulta menos costoso el despliegue de una red inalámbrica que una cableada, sobre todo si se dan de nuevo las condiciones citadas en el apartado anterior de que existan unas infraestructuras previas que puedan aprovecharse.

También hay que tener en cuenta que no todo son ventajas en las redes inalámbricas. Los problemas que se presentan son los siguientes:



- **Interferencias:** La propagación de ondas electromagnéticas a través del interfaz aire lleva implícito el riesgo de que puedan interferirse unas con otras. La solución a este problema pasa por la legislación del uso de espectro radioeléctrico en cuanto a frecuencias utilizadas y potencias permitidas en cada una de esas frecuencias.
- **Inestabilidad del medio físico:** La propagación electromagnética a través del interfaz aire es un fenómeno altamente complejo que se ve afectado por elementos como las condiciones atmosféricas, presencia de ruido de fondo, interferencias no controladas y otras modificaciones del medio físico que hacen que las condiciones de los radioenlaces tengan por lo general una gran variabilidad.
- **Velocidad de transmisión y retardos:** Los factores descritos en los dos puntos anteriores son los que provocan que las velocidades de transmisión sean menores y los retardos mayores que en las transmisiones llevadas a cabo por medios cableados.
- **Seguridad:** Los datos transmitidos por el interfaz aire son susceptibles de ser escuchados por cualquiera que tenga los medios adecuados. Gracias al desarrollo de mecanismos de autenticación y encriptación, este problema queda solventado, siempre y cuando estos mecanismos sean implementados de manera adecuada.

**2.2.4 Topología WLAN.** Es conveniente el hacer una división entre la topología y el modo de funcionamiento de los dispositivos WiFi. La topología se refiere a la disposición lógica (aunque la disposición física también se pueda ver influida) de los dispositivos, mientras que el modo de funcionamiento de los mismos es el modo de actuación de cada dispositivo dentro de la topología escogida. En el mundo Wireless existen dos topologías básicas:

**Topología Ad-Hoc.** Cada dispositivo se puede comunicar con todos los demás. Cada nodo forma parte de una red Peer to Peer o de igual a igual, para lo cual sólo vamos a necesitar el disponer de un SSID igual para todos los nodos y no sobrepasar un número razonable de dispositivos que hagan bajar el rendimiento. A más dispersión geográfica de cada nodo, más dispositivos pueden formar parte de la red, aunque algunos no lleguen a verse entre sí<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup>FOROUZAN, Behrouz A. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 2a ed, Mc Graw Hill, 2002

**Figura 12. Topología Ad-Hoc**



Fuente. <http://www.tecmundo.com.br/internet/2792-o-que-sao-redes-ad-hoc-.htm>

**Topología Infraestructura.** En el cual existe un nodo central (Punto de Acceso WiFi) que sirve de enlace para todos los demás (Tarjetas de Red WiFi). Este nodo sirve para encaminar las tramas hacia una red convencional o hacia otras redes distintas. Para poder establecerse la comunicación, todos los nodos deben estar dentro de la zona de cobertura del AP <sup>6</sup>.

**Figura 13. Topología Infraestructura**



Fuente. <http://alexcioata.blogspot.com/2014/04/tema-11-redes-locales-inalambricas.html>

**2.2.5 Capa de acceso al medio (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...

---

<sup>6</sup>ibid

✓ **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.

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

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

**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.

**Protocolos de acceso por contienda.** Tienen similitudes al de Ethernet cableada de línea normal 802.3 CSMA (Code-division múltiple 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).

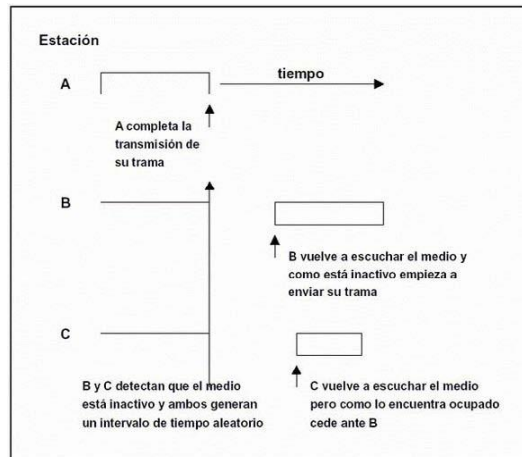
Como en estos medios de difusión (radio, infrarrojos), no es posible transmitir y recibir al mismo tiempo, la detección de errores no funciona en la forma básica que fue expuesta para las LAN alámbricas. Se diseñó una variación denominada detección de colisiones (peine) para redes inalámbricas. En este 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 14. Modo escucha en CSMA/CA 1**



Fuente. <http://jopononn.blogspot.com/2014/04/tema-11-redes-locales-inalambricas.html>

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.

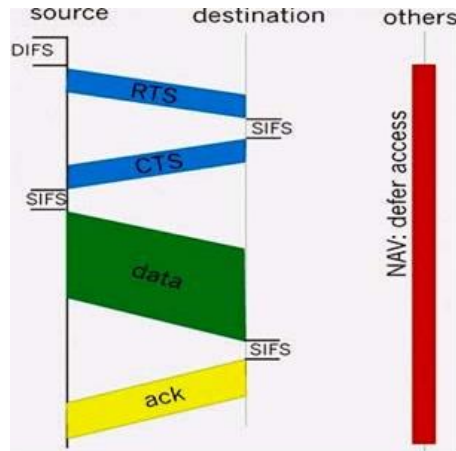
Si la fuerza de la señal recibida está por debajo de un umbral especificado, el canal se considera vacío, y a la capa MAC se le da el estado del canal vacío para la transmisión de los datos. Si la energía RF está por debajo del umbral, las transmisiones de los datos son retrasadas de acuerdo con las 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 15. Modo escucha en CSMA/CA 2**

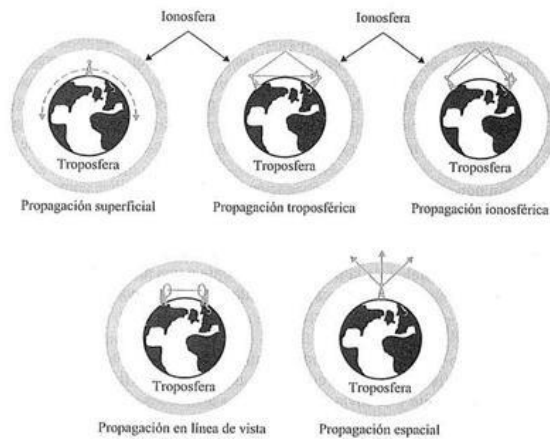


Fuente. <http://jopononn.blogspot.com/2014/04/tema-11-redes-locales-inalambricas.html>

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.

**2.2.6 Tipos de propagación de las ondas de radio.** Las radiocomunicaciones terrestres se pueden propagar de distintas formas y estas formas dependen de la clase de sistemas y del ambiente, las ondas terrestres tienden a viajar en línea recta, pero tanto la Tierra como la atmósfera pueden alterar su trayectoria. Existen cinco tipos de propagación de ondas de radio.

**Figura 16. Tipos de Propagación**



Fuente: Behrouz A. Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 2a ed, Mc Graw Hill, 2002

La tecnología de radio considera que la tierra está rodeada por dos capas de atmósfera: la troposfera y la ionosfera. La troposfera es la porción de la atmósfera que se extiende hasta aproximadamente 45 Km desde la superficie de la tierra y contiene aquello en lo que nosotros generalmente pensamos como el aire, viajes en un avión. La ionosfera es la capa de la atmósfera por encima de la troposfera pero por debajo del espacio. Y contiene partículas libres cargadas eléctricamente.

- **Propagación en superficie.** Las ondas de radio a través de la porción más baja de la atmósfera, abrazando a la tierra, la distancia de la propagación depende de la cantidad de potencia de la señal: cuanto mayor es la potencia, mayor es la distancia. Puede tener lugar en el agua del mar.
- **Propagación troposférica.** Puede actuar de dos formas, o bien se puede dirigir la señal en línea recta de antena a antena (visión directa) o se puede radiar con un cierto ángulo hasta los niveles superiores de la troposfera donde se refleja hacia la superficie de la tierra. El primer método necesita que la situación del receptor y el transmisor este dentro de distancias de visión, limitadas por la curvatura de la tierra en relación a la altura de las antenas. El segundo método permite cubrir mayores distancias.
- **Propagación ionosfera.** Las ondas de radio de más alta frecuencia se radian hacia la ionosfera donde se reflejan de nuevo hacia la tierra. La densidad entre la troposfera y la ionosfera hace que cada onda de radio se acelere y cambie de dirección, curvándose de nuevo hacia la tierra. Este tipo de transmisión permite cubrir grandes distancias con menor potencia de salida.

- **Propagación por visión directa.** Se transmiten señales de muy alta frecuencia directamente de antena a antena siguiendo una línea recta. Las antenas deben ser direccionales, estando enfrentadas entre sí, deben estar lo suficientemente altas para no verse afectadas por la curvatura de la tierra.

- **Propagación por espacio.** Utiliza como retransmisor satélites en lugar de la refracción atmosférica, una señal radiada es recibida por un satélite situado en órbita, que la reenvía de vuelta para el receptor adecuado.

## 2.3 MARCO CONCEPTUAL

**2.3.1 Exploración.** El estándar 802.11 define tanto la búsqueda activa como pasiva, sistemas que utiliza un adaptador de red para localizar puntos de acceso. La búsqueda pasiva es obligatoria donde cada adaptador de red busca canales individuales para encontrar la mejor señal del punto de acceso. Periódicamente, cada punto de acceso difunde señales como si fuera un faro, y el adaptador de red recibe estas señales (beacon) mientras busca tomando nota de sus datos. Estas beacon (señales de faro) contiene datos sobre el punto de acceso incluyendo por ejemplo el SSID, tasas de transmisión admitidas, etc. El adaptador de red puede usar esta información para compararla y determinar junto con otras características, como la fuerza de la señal, qué punto de acceso utilizar.

La búsqueda activa es similar salvo que la propia tarjeta inicia el proceso difundiendo una trama de prueba a la que responden todos los puntos de acceso que estén al alcance con otra trama de prueba. En la búsqueda activa se permite que un adaptador de red reciba respuesta inmediata del punto de acceso sin necesidad de esperar a una transmisión beacon. En la práctica la búsqueda activa impone un carga adicional en la red debido a las tramas de prueba y sus respuestas.

**2.3.2 Autenticación.** La autenticación es el proceso para comprobar la identidad de un adaptador en la red para aceptarlo o rechazarlo. El estándar 802.11 especifica dos formas de autenticación, el sistema abierto y el sistema basado en una clave compartida. El sistema abierto es obligatorio y consta de dos pasos.

- ✓ El adaptador de red inicia el proceso enviando una trama de solicitud de autenticación al punto de acceso.

- ✓ El punto de acceso responde con una trama de autenticación que indica si acepta o rechaza la autenticación en el campo de código de estado de la trama.

La autenticación de clave compartida es opcional y básicamente comprueba si la clave WEP es la correcta. El hecho de ser opcional para el protocolo no impide que esté en la práctica totalidad de los adaptadores y puntos de acceso. Este proceso consta de cuatro pasos:



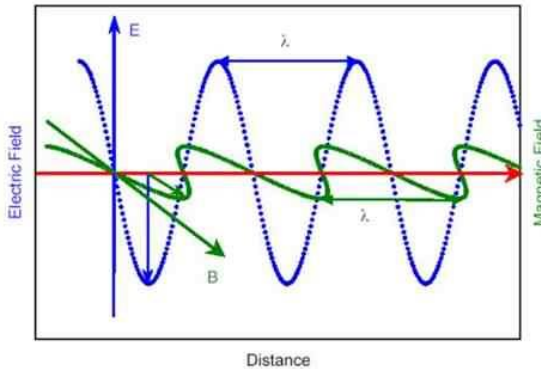
- ✓ El adaptador de red inicia el proceso enviando una trama de solicitud de autenticación al punto de acceso.
- ✓ El punto de acceso responde con una trama de autenticación que contiene un texto de desafío.
- ✓ El adaptador de red utiliza su clave WEP para cifrar el texto de desafío y lo devuelve al punto de acceso en otra trama de autenticación.
- ✓ El punto de acceso descifra el valor cifrado, lo compara con el original y responde con una trama de autenticación que indica si acepta o rechaza la autenticación.
- ✓ Si coinciden el valor original y el de la respuesta el punto de acceso supone que el solicitante tiene la clave correcta.

**2.3.3 Asociación.** La asociación es un proceso por el cual el punto de acceso reserva recursos y sincroniza con una estación cliente. Una vez que el adaptador de red se ha autenticado, también tiene que asociarse al punto de acceso antes poder transmitir tramas de datos. La asociación es importante para sincronizar a ambos elementos con información importante como por ejemplo las tasas de transmisión admitidas.

El adaptador de de inicia la asociación enviando una trama de solicitud de asociación que contiene elementos como el SSID y tasas de transferencia admitidas. El punto de acceso reserva memoria para ese cliente, le asigna un ID de asociación y le responde con una trama de respuesta de asociación que contiene el ID de asociación junto con otra información referente al punto de acceso. Una vez que el adaptador de red y el punto de acceso hayan completado el proceso de asociación pueden comenzar a transmitir tramas de datos entre ellos, es decir el cliente puede utilizar el punto de de acceso para comunicar con otros clientes de la red.

**2.3.4 Ondas electromagnéticas.** Las ondas electromagnéticas se propagan por el espacio sin necesidad de un medio, pudiendo por lo tanto propagarse en el vacío. Esto es debido a que las ondas electromagnéticas son producidas por las oscilaciones de un campo eléctrico, en relación con un campo magnético asociado. Es decir son ondas transversales en las que el campo eléctrico y el campo magnético son perpendiculares entre si y a su vez perpendiculares a la dirección de propagación

**Figura 17. Campos involucrados en las ondas electromagnéticas**



Fuente: <http://perio.unlp.edu.ar/tecnologias/ciencia/teoria.htm>

Estos campos no son independientes ya que sus valores instantáneos están relacionados entre sí por la expresión

$$E = c \cdot B$$

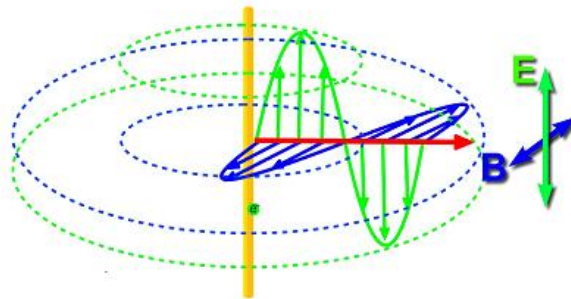
Donde,

E: campo eléctrico.

B: campo magnético

C: velocidad de propagación de la luz.  $C = 3 \cdot 10^8$  m/s

**Figura 18. Ondas Electromagnéticas**



Fuente: <http://ocw.bib.upct.es/course/view.php?id=136>

**2.3.5 Bandas de Frecuencias.** El 21 de Abril de 2004, el Ministerio de Comunicaciones expidió la resolución 689 que se considera la “norma inalámbrica unificada” porque armonizó y reunió todos los sistemas de acceso inalámbrico tales como Wi-Fi y bluetooth.

Mediante esta resolución se atribuyeron las bandas de frecuencias de libre utilización para los sistemas inalámbricos de baja potencia y se establecieron las especificaciones de operación necesarias en dichas bandas para que no causen interferencia perjudicial a otros servicios de telecomunicaciones.

Las frecuencias son de libre utilización porque cualquier persona en el país puede hacer uso de ellas si posee la tecnología necesaria. Por ejemplo, el estándar Bluetooth es una tecnología inalámbrica de bajo costo que permite la comunicación “sin cables” entre teléfonos móviles, ordenadores personales (PCs), laptops, asistentes digitales personales (PDAs), teclados, mouses, impresoras y otros dispositivos de computación que se encuentren a una distancia menor a 10 metros.

Por su parte, la aplicación Wi-Fi (Wireless Fidelity) es una alternativa para conexión inalámbrica a las redes de telecomunicaciones que permite a los usuarios tener movilidad dentro de un entorno menor a 100 metros, así en Colombia ya no es extraño encontrar a una persona consultando su correo en Internet mientras se toma un café en medio del aeropuerto.

La resolución atribuyó los siguientes rangos de frecuencia para los sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local que empleen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital de banda ancha y baja potencia.

- ✓ Banda de 902 a 928 MHz
- ✓ Banda de 2 400 a 2 483,5 MHz
- ✓ Banda de 5 150 a 5 250 MHz
- ✓ Banda de 5 250 a 5 350 MHz
- ✓ Banda de 5 470 a 5 725 MHz
- ✓ Banda de 5 725 a 5 850 MHz.

Aunque la utilización del espectro radioeléctrico en las bandas de frecuencias mencionadas anteriormente no requiere licencia, para prestar el servicio a terceros los operadores deben tener la concesión respectiva, en el caso de acceso a Internet se necesita la licencia de valor agregado.

El Espectro Ensanchado ó Spread Spectrum (SS) es una técnica de transmisión de datos, en la cual la información de interés se distribuye sobre un ancho de banda mucho mayor que el convencional, y que con un nivel muy bajo de potencia y un alto nivel de protección de interferencia, envía altos contenidos de datos de información.

Los dispositivos de Espectro Ensanchado operan, desde el año de 1985 y fueron la base para desarrollar aplicaciones en las bandas Industriales, Científicas y Técnicas (ICM) de 902 a 928 MHz, de 2 400 a 2 483,5 MHz y de 5 725 a 5 850 MHz, que sin ser propias de telecomunicaciones operan sin necesidad de licencia o autorizaciones. Un ejemplo de estas aplicaciones es el horno microondas.

En las mismas bandas ISM se desarrollaron dispositivos de Espectro Ensanchado que fueron la base para la creación de las redes inalámbricas de área local LAN, con múltiples aplicaciones tales como los teléfonos inalámbricos residenciales, las cámaras de circuito cerrado de televisión, los dispositivos para apertura de puertas y swiches electrónicos.

A partir del año 2002 nuevos desarrollos tecnológicos sobre las mismas bandas de frecuencias lograron ofrecer beneficios adicionales porque permitían un mayor flujo de información y de velocidad de transmisión, alta eficiencia de espectro y menor distorsión, siguiendo los principios de banda ancha y baja potencia. Se distinguen entre estas aplicaciones los estándares Bluetooth y Wi-Fi.

- ✓ La utilización de sistemas de acceso inalámbrico y redes inalámbricas de área local, que utilicen tecnologías de espectro ensanchado y modulación digital, de banda ancha y baja potencia, está condicionada al cumplimiento de las siguientes condiciones.
- ✓ No deben causar interferencia perjudicial a las estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
- ✓ No pueden reclamar protección contra interferencias perjudiciales causadas por estaciones de un servicio primario a las que se les hayan asignado frecuencias con anterioridad o se les puedan asignar en el futuro.
- ✓ Si un dispositivo ocasiona interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada a título primario, aunque el aparato cumpla con las normas técnicas establecidas en los reglamentos de radiocomunicación o los requisitos de autorización de equipo, se deberá suspender la operación del dispositivo. De comprobarse la continua interferencia perjudicial a una radiocomunicación autorizada, el Ministerio de Comunicaciones podrá ordenar la suspensión definitiva de las operaciones.

**2.3.6 Redes de Radiofrecuencias.** El término radiofrecuencia, también denominado espectro de radiofrecuencia o RF, se aplica a la porción menos energética del espectro electromagnético, situada entre unos 3 Hz y unos 300 GHz. El hertzio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas radioeléctricas, y corresponde a un periodo por segundo. Las ondas electromagnéticas de esta región del espectro se pueden transmitir aplicando la corriente alterna originada en un generador a una antena.

**Tabla 5. Bandas del espectro**

Nombre	Abreviatura inglesa	Banda	Frecuencias	Longitud de onda
			Inferior a 3 Hz	> 100.000 km
<b>Extra baja frecuencia</b> Extremely low frequency	ELF	1	3-30 Hz	100.000 km – 10.000 km
<b>Súper baja frecuencia</b> Super low frequency	SLF	2	30-300 Hz	10.000 km – 1000 km
<b>Ultra baja frecuencia</b> Ultra low frequency	ULF	3	300–3000 Hz	1000 km – 100 km
<b>Muy baja frecuencia</b> Very low frequency	VLF	4	3–30 kHz	100 km – 10 km
<b>Baja frecuencia</b> Low frequency	LF	5	30–300 kHz	10 km – 1 km
<b>Media frecuencia</b> Medium frequency	MF	6	300–3000 kHz	1 km – 100 m
<b>Alta frecuencia</b> High frequency	HF	7	3–30 MHz	100 m – 10 m
<b>Muy alta frecuencia</b> Very high frequency	VHF	8	30–300 MHz	10 m – 1 m
<b>Ultra alta frecuencia</b> Ultra high frequency	UHF	9	300–3000 MHz	1 m – 100 mm
<b>Súper alta frecuencia</b> Super high frequency	SHF	10	3-30 GHz	100 mm – 10 mm
<b>Extra alta frecuencia</b> Extremely high frequency	EHF	11	30-300 GHz	10 mm – 1 mm
			> 300 GHz	< 1 mm

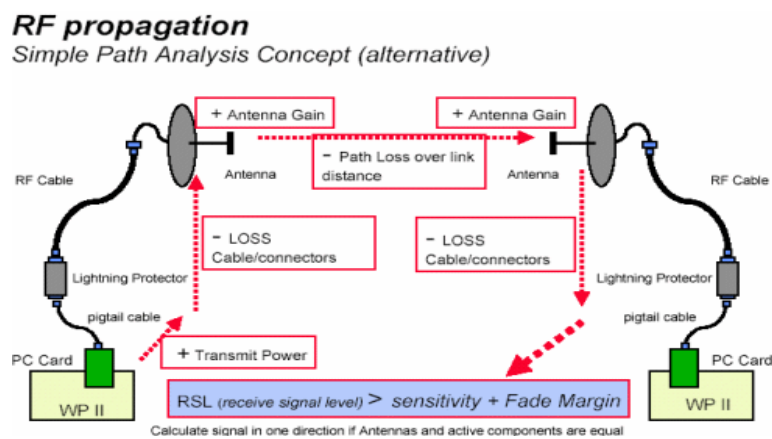
Fuente. <http://www.sincables.net/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=5>

A partir de 1 GHz las bandas entran dentro del espectro de las microondas. Por encima de 300 GHz la absorción de la radiación electromagnética por la atmósfera terrestre es tan alta que la atmósfera se vuelve opaca a ella, hasta que, en los denominados rangos de frecuencia infrarrojos y ópticos, vuelve de nuevo a ser transparente.

Las bandas ELF, SLF, ULF y VLF comparten el espectro de la AF (audiofrecuencia), que se encuentra entre 20 y 20000 Hz aproximadamente. Sin embargo, éstas se tratan de ondas de presión, como el sonido, por lo que se desplazan a la velocidad del sonido sobre un medio material. Mientras que las ondas de radiofrecuencia, al ser ondas electromagnéticas, se desplazan a la velocidad de la luz y sin necesidad de un medio material.

**2.3.7 Radio Enlace.** Se denomina radio enlace a cualquier interconexión entre los terminales de telecomunicaciones efectuados por ondas electromagnéticas. Si los terminales son fijos, el servicio se lo denomina como tal y si algún terminal es móvil, se lo denomina dentro de los servicios de esas características. Se puede definir al radio enlace del servicio fijo, como sistemas de comunicaciones entre puntos fijos situados sobre la superficie terrestre, que proporcionan una capacidad de información, con características de calidad y disponibilidad determinadas. Típicamente estos enlaces se explotan entre los 800 MHz y 42 GHz. Los radio enlaces, establecen un concepto de comunicación del tipo dúplex, de donde se deben transmitir dos portadoras moduladas: una para la Transmisión y otra para la recepción. Al par de frecuencias asignadas para la transmisión y recepción de las señales, se lo denomina radio canal. Los enlaces se hacen básicamente entre puntos visibles, es decir, puntos altos de la topografía. Cualquiera que sea la magnitud del sistema de microondas, para un correcto funcionamiento es necesario que los recorridos entre enlaces tengan una altura libre adecuada para la propagación en toda época del año, tomando en cuenta las variaciones de las condiciones atmosféricas de la región.

**Figura 19. Radio Enlace**



Fuente: <http://informaticaagrupo2.blogspot.com/> p. 1 de 9.

**2.3.8 Antenas.** Una antena es un dispositivo (conductor metálico) diseñado con el objetivo de emitir o recibir ondas electromagnéticas hacia el espacio libre. Una antena transmisora transforma voltajes en ondas electromagnéticas, y una receptora realiza la función inversa.

Existe una gran diversidad de tipos de antenas. En unos casos deben expandir en lo posible la potencia radiada, es decir, no deben ser directivas (ejemplo: una emisora de radio comercial o una estación base de teléfonos móviles), otras veces deben serlo para canalizar la potencia en una dirección y no interferir a otros servicios (antenas entre estaciones de radioenlaces). También es una antena la que está integrada en la computadora portátil para conectarse a las redes Wi-Fi.

Las características de las antenas dependen de la relación entre sus dimensiones y la longitud de onda de la señal de radiofrecuencia transmitida o recibida. Si las dimensiones de la antena son mucho más pequeñas que la longitud de onda las antenas se denominan elementales, si tienen dimensiones del orden de media longitud de onda se llaman resonantes, y si su tamaño es mucho mayor que la longitud de onda son directivas.

## 2.4 MARCO LEGAL

El marco legal comprende las normas y especificaciones para el diseño de redes; las leyes nacionales vigentes por las cuales se determina el desarrollo de tecnologías de comunicación.

**Normas IEEE.** IEEE (Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos) es la encargada de fijar los estándares de computadoras, los elementos físicos de una red, cables, conectores, etc. A nivel mundial en su división 802.

Se tendrán en cuenta las normas técnicas y la parte legislativa por parte del ministerio TIC, a continuación se describe la normatividad

## **LEGISLACION EN TELECOMUNICACIONES**

Ley 74 de 1966. Por la cual se reglamenta la transmisión de programas por los servicios de radiodifusión.

Decreto - ley 1900 de 1990, establecen que las telecomunicaciones deberán ser utilizadas como instrumento para impulsar el desarrollo político, económico y social del país, con el objetivo de elevar el nivel y la calidad de vida de los habitantes.

Ley 72 de 1989, establece que el Gobierno Nacional promoverá la cobertura nacional de los servicios de telecomunicaciones y su modernización, a fin de proporcionar el desarrollo socioeconómico de la población<sup>7</sup>.

---

<sup>7</sup> MINISTERIO TIC. Normas, Leyes y Decretos. [En línea]. Actualizado en 2012. [Citado el 23 de Febrero de 2012]. Disponible en Internet En: [www.mintelecomunicaciones.gov.co](http://www.mintelecomunicaciones.gov.co) p. 1 de 15.

Art. 15. La red de telecomunicaciones del estado comprende además, aquellas redes cuya instalación uso y explotación se autoricen a persona naturales o jurídicas privadas para la operación de servicios de telecomunicaciones, en las condiciones que se presentan en el presente decreto.

Párrafo. El gobierno nacional podrá autorizar la instalación, uso y explotación de redes de telecomunicaciones, aun cuando existan redes de telecomunicaciones del estado.

**802.11b,g,n.** En 2001 hicieron su aparición en el mercado los productos del estándar 802.11a. La revisión 802.11a fue ratificada en 1999. El estándar 802.11a utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 Ghz y utiliza 52 subportadoras orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. 802.11a tiene 12 canales sin solapa, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto.

No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b, excepto si se dispone de equipos que implementen ambos estándares. Dado que la banda de 2.4 Ghz tiene gran uso (pues es la misma banda usada por los teléfonos inalámbricos y los hornos de microondas, entre otros aparatos), el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja del estándar 802.11a, dado que se presentan menos interferencias.

Sin embargo, la utilización de esta banda también tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos 802.11a a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso; Esto significa también que los equipos que trabajan con este estándar no pueden penetrar tan lejos como los del estándar 802.11b dado que sus ondas son más fácilmente absorbidas<sup>8</sup>.

**Figura 20. Diagrama de la legislación en telecomunicaciones en Colombia**



Fuente: Ministerio de Telecomunicaciones. Normas, Leyes y Decretos. Disponible en: <http://www.mintelecomunicaciones.gov.co> p. 3 de 15.

<sup>8</sup> Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo. [En línea]. Actualizado en 2007. [Citado el 02 de junio de 2017]. Disponible en Internet En: <http://wndw.net/> p. 17 de 346.



### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación que se llevó a cabo para el desarrollo del presente proyecto fue descriptivo, ya que se busca analizar y describir cada situación, además los estudios descriptivos utilizan el método de análisis para lograr caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades, combinada con ciertos criterios de clasificación, sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio.

#### 3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

En busca de cumplir con los objetivos propuestos para la realización del presente proyecto denominado propuesta de una metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM dirigido a los estudiantes del Técnico Profesional en Telecomunicaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña; y teniendo en cuenta que el tipo de investigación empleado es el descriptivo, fue necesario emplear el método inductivo que se inicia de un caso específico, para llegar a una conclusión, en este caso que planteara la necesidad elaborar una propuesta. Este método permite la formación de hipótesis, investigación de leyes científicas, y las demostraciones.

#### 3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA

**3.3.1 Población Universo.** La población que se tuvo en cuenta en este proyecto es de 90 personas equivalente a los estudiantes del Técnico Profesional en Telecomunicaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña.

**3.3.2 Muestra.** Por ser una muestra finita, se tomó la misma población. Por lo tanto se trabajó con el 100% de la misma.

Las técnicas e instrumentos de recolección empleadas para la obtención de la información necesaria para el desarrollo del proyecto, fueron la encuesta y la revisión documental.

La encuesta, compuesta de un cuestionario, que contiene una serie de preguntas, en cuya formulación se observa el problema que se deseaba estudiar. A través de ellas se especificaron los requerimientos para el presente proyecto. (Ver anexo A)

Toda la información necesaria para definir el marco teórico del proyecto, se obtuvo por medio de revisión documental de material bibliográfico y en Internet

### 3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Los resultados de las encuestas se tabularon, se graficaron y se analizaron cuantitativa y cualitativamente de acuerdo a los resultados, pues se buscaba obtener los datos suficientes para lograr la ejecución de este proyecto.

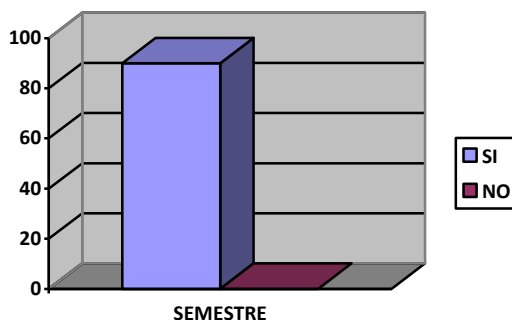
#### 3.4.1 Resultados Encuesta a estudiantes

**Tabla 6. Le gustaría tener una metodología de radio enlaces que sirva como complemento a la asignatura de comunicaciones inalámbricas del Técnico Profesional en Telecomunicaciones?**

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	90	100%
NO	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores del proyecto de investigación

**Figura 21. Le gustaría tener una metodología de radio enlaces que sirva como complemento a la asignatura de comunicaciones inalámbricas del técnico profesional en telecomunicaciones**



Fuente: Autores del proyecto de investigación

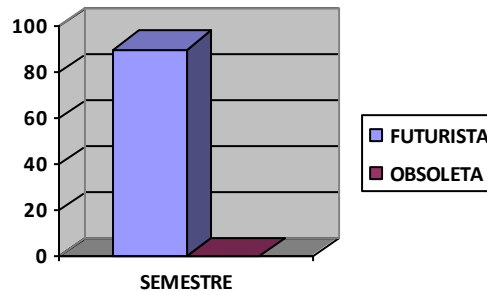
Evidentemente, la mayoría de los estudiantes del técnico en telecomunicaciones quisieran tener este gran complemento, pues consideran que no cuentan con un material completo y disponible sobre el tema en mención.

**Tabla 7. Ve la transmisión de información a través de radio enlaces como una tecnología futurista u obsoleta?**

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
FUTURISTA	90	100%
OBSOLETA	0	0%
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores del proyecto de investigación

**Figura 22. Ve la transmisión de información a través de radio enlaces como una tecnología futurista u obsoleta**



Fuente: Autores del proyecto de investigación

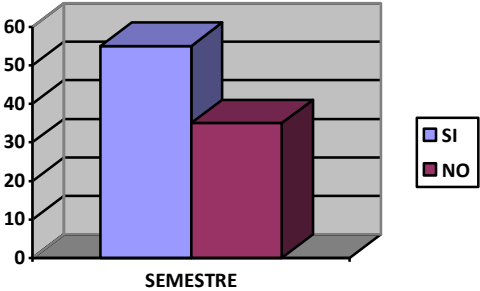
Se pudo evidenciar que el 100% de los estudiantes ve esta tecnología como futurista, ya que reconocen los beneficios de esta importante herramienta que han podido conocer durante sus estudios en la universidad.

**Tabla 8. Cree que los técnicos deben apostarle a la creación de manuales o metodologías para un mejor aprendizajes?**

RESPUESTA	FRECUENCIA	PORCENTAJE
SI	55	61.11%
NO	35	38.88%
<b>TOTAL</b>	<b>90</b>	<b>100%</b>

Fuente: Autores del proyecto de investigación

**Figura 23. Cree que los técnicos deben apostarle a la creación de manuales o metodologías para un mejor aprendizaje.**



Fuente: Autores del proyecto de investigación

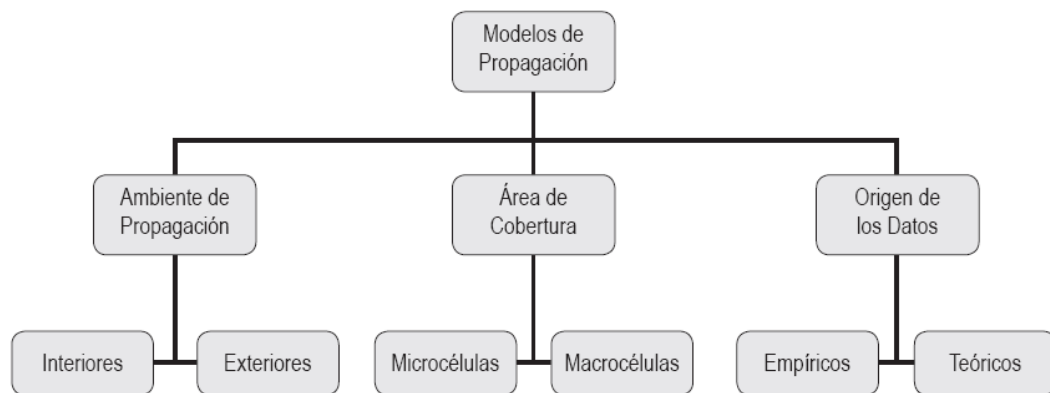
A cerca de este tema se pudo evidenciar que los estudiantes necesitan este tipo de manuales o metodologías.

## 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y Algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado. Generalmente los modelos de predicción se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Los modelos de propagación predicen la pérdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor móvil o fijo. La ventaja de modelar radiocanales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos.

**Figura 24. Modelos de Propagación**

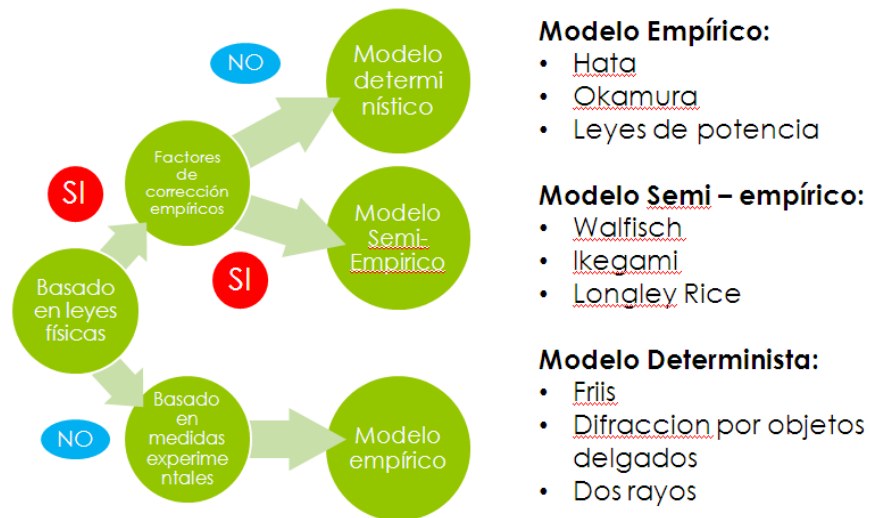


Fuente. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702009000200004&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-81702009000200004&script=sci_arttext)

En un principio cuando aparecieron las redes inalámbricas se utilizaban pocas antenas y ubicadas a una gran altura. Esta implementación era válida debido a que la demanda por el servicio era mínima. Con el aumento del número de usuarios fue necesario disponer de más antenas y canales, con lo cual fue necesario poder hacer reusó de las frecuencias, lo que permite volver a utilizar el mismo canal en otro lugar. Entonces para disminuir al máximo la interferencia en los límites de las celdas se debió obtener mejores predicciones de cobertura. Actualmente se pueden encontrar 4 tamaños de celdas: Macro Celda, Mini Celda, Micro Celda y Pico Celda. La definición del tamaño de cada una de estas varía en la misma, en los siguientes párrafos sólo se abordara las Macro y Micro celdas.

Los modelos que se presentan a continuación están clasificados en teóricos y empíricos, en los primeros se debe tener mayor información acerca de la ciudad en particular y la estructura de las edificaciones. Por otro lado los modelos empíricos fueron desarrollados utilizando una serie de mediciones, de las cuales se obtuvieron las fórmulas de propagación.

**Figura 25. Esquema de los modelos de propagación**



Fuente. <http://es.slideshare.net/eliche04>

## 4.1 MODELOS EMPÍRICOS

**4.1.1 Modelo De Okumura.** Es uno de los modelos más utilizados para la predicción de la pérdida de propagación en áreas urbanas. El principal resultado del trabajo de Okumura fue un conjunto de curvas que proporcionan el nivel de atenuación media relativa al espacio libre, en función de la frecuencia, la distancia entre transmisor y receptor, la altura de las antenas de la estación base y la estación móvil, además de varios factores de corrección específicos para diferentes tipos de trayecto. Este modelo está considerado entre los más simples y mejores en términos de su precisión en el cálculo de las pérdidas en el trayecto y se ha convertido en la planificación de sistemas móviles en Japón.

El modelo de Okumura es utilizado para predecir la potencia en un receptor ubicado en un área urbana para comunicaciones móviles. Este modelo es aplicable para el rango de frecuencias entre 150 a 1920 MHz es decir comprende la banda de VHF Y UHF. Según este modelo, la distancia máxima de separación que puede existir entre el transmisor y el receptor es de hasta 100 km. Puede ser usado para alturas de la antena de la estación base en el rango de 30 m a 1000 m. Las pérdidas existentes en el enlace pueden ser obtenidas mediante la ecuación.

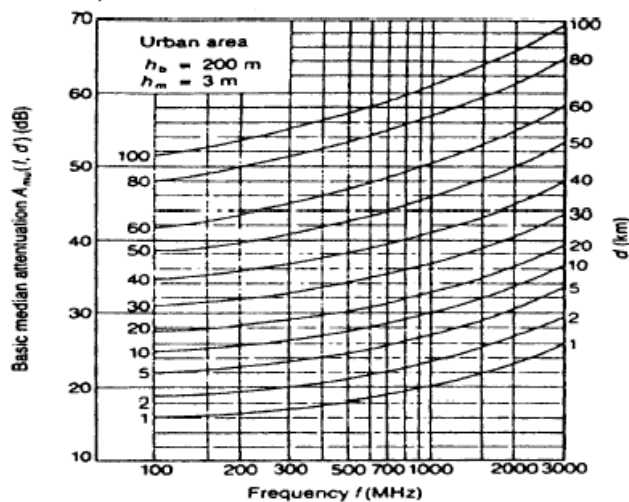
$$L_{50}(dB) = L_F + A_{MU}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}$$

- $L_{50}$  son las pérdidas por propagación al 50 % de recepción de la señal.
- $L_F$  pérdidas en espacio libre.
- $G(h_{te})$  ganancia de la antena transmisora (dB)
- $G(h_{re})$  ganancia de la antena receptora.
- $G_{AREA}$  ganancia del entorno.

Okumura desarrollo un set de curvas que entregan la atenuación de relativa al espacio libre medio (que se usa como nivel de referencia) para una zona urbana sobre terreno casi plano, en base a extensas mediciones, además de basarse en parámetros predefinidos.

Los valores obtenidos de cada curva fueron obtenidos por exhaustivas mediciones usando antenas verticales y omnidireccionales tanto en la base como en el móvil y graficadas en función de la frecuencia en el rango de los 100Mhz a los 1920 Mhz.

**Figura 26. Pérdidas en los enlaces por Okumura**



Fuente. <http://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2013/07/10/modelos-empiricos-modelo-de-okumura-es-uno-de-los-modelos/>

En base a esto pudo desarrollar un modelo de las pérdidas del enlace considerando factores de corrección dependiendo del tipo de terreno. Es uno de los modelos más simples y adecuados para las predicciones de atenuación para sistemas celulares y sistemas de radio terrestre en ambientes poblados.

**4.1.2 Modelo Hata.** En este modelo se obtiene una formula empírica para las pérdidas por propagación a partir de las mediciones hechas por Okumura. El modelo trata de representar las mediciones hechas por Okumura a través de la forma:

$$A+B \log_{10} R$$

Donde:

$A$  y  $B$ : funciones de la frecuencia y la altura de la antena,  $R$ : distancia entre la antena y el usuario.

Con el objetivo de hacer que este método fuera más fácil de aplicar, Hata estableció una serie de relaciones numéricas que describen el método gráfico propuesto por Okumura. Dichas expresiones de carácter empírico, son conocidas bajo el nombre de modelo de Okumura-Hata, también llamado modelo de Hata.

El principal resultado que proporciona el modelo es el valor mediano de la pérdida básica de propagación, en función de la frecuencia, la distancia, y las alturas de las antenas de la estación base y el móvil. Aunque éste no incluye ninguno de los factores de corrección por tipo de trayecto, los cuales sí están en el modelo de Okumura, las ecuaciones propuestas por Hata tienen un importante valor práctico. Las aproximaciones hechas por Hata involucran dividir las áreas de predicción categorizadas por el tipo de terreno, llamadas área abierta, urbana y suburbana<sup>9</sup>.

- **Área urbana:** Corresponde a las grandes ciudades con altas edificaciones y casas con 2 o más pisos, o donde existen una gran concentración de casas.
- **Área suburbana:** Ciudades o carreteras en donde hay árboles y casas en forma dispersa, existen obstáculos cerca del usuario pero no provocan congestión.
- **Área abierta:** Son los espacios abiertos sin grandes árboles o edificaciones en el camino de la señal.

Las aproximaciones hechas por Hata son válidas dentro los límites de los parámetros de la siguiente figura.

**Figura 27. Rango de validez del modelo Hata**

Parámetros	Rango de Valides
Frecuencia ( $f$ ) en [MHz]	100-1500
Altura efectiva de la estación base ( $h_b$ ) en [m]	30-200
Altura de la antena del móvil ( $h_m$ ) [m]	1-10
Distancia ( $R$ ) en [Km]	1-20

Fuente. <http://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2013/07/10/modelos-empiricos-modelo-de-okumura-es-uno-de-los-modelos/>

Automatización del modelo de Okumura

<sup>9</sup>OKUMURA, Hata, Modelos Empíricos, 2a ed, Mc Graw Hill, 2002



Dedujo las ecuaciones a partir de las curvas de Okumura por regresión simple

f - frecuencia

h<sub>T</sub>- altura de tx (30 a 200m)

h<sub>m</sub>- altura del receptor (1 a 10 m)

d - distancia (1 a 20 km)

### Ciudad media- pequeña

$$L_{bu} = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82(h_T) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 \log h_T) \log d$$

### Ciudad grande

$$a(h_m) = 8,29(\log 1,54h_m)^2 - 1,1 \quad f \leq 200\text{MHz}$$

$$a(h_m) = 3,2(\log 11,75h_m)^2 - 4,97 \quad f > 200\text{MHz}$$

### Zona suburbana

$$L_{bs} = L_{bu} - 2 \left[ \log \left( \frac{f}{28} \right) \right]^2 - 5,4$$

### Zona rural

$$L_{bs} = L_{bu} - 4,78 [\log f]^2 + 18,33 \log f - 40,94$$

## 4.2 MODELOS SEMI-EMPIRICOS

**4.2.1 El Modelo Egli.** Es un modelo del terreno para la propagación de radio frecuencia. Este modelo, que se introdujo por primera vez por John Egli, en su artículo 1957, se deriva de datos del mundo real en UHF y VHF transmisiones de televisión en varias ciudades grandes. Se predice la pérdida total de la ruta de un enlace punto a punto. Normalmente se usa al aire libre para la línea de transmisión de la vista, este modelo proporciona la pérdida en el camino como una sola cantidad. El modelo Egli suele ser adecuado para los escenarios de la comunicación celular en el que se fija una antena y el otro es móvil. El modelo es aplicable a situaciones en las que la transmisión tiene que ir sobre un terreno irregular. Sin embargo, el modelo no toma en cuenta los viajes a través de alguna obstrucción vegetativa, tales como árboles o arbustos.

Frecuencia: El modelo se aplica típicamente a VHF y UHF transmisiones de espectro. Este modelo permite tener una aproximación rápidamente

El modelo Egli se expresa formalmente como:

$$L = G_t G_r \left( \frac{h_t h_r}{d^2} \right)^2 \left( \frac{40}{f} \right)^2$$

Donde,

GT = Ganancia de la antena de estación base. Unidad: dimensiones

GR = Ganancia de la antena de la estación móvil. Unidad: dimensiones

ht = altura de la antena de estación base. Unidad: metro (m)

hr = Altura de la antena de la estación móvil. Unidad: metro (m)

d = Distancia desde la antena de estación base. Unidad: metro (m)

f = frecuencia de transmisión. Unidad: megahercios (MHz)

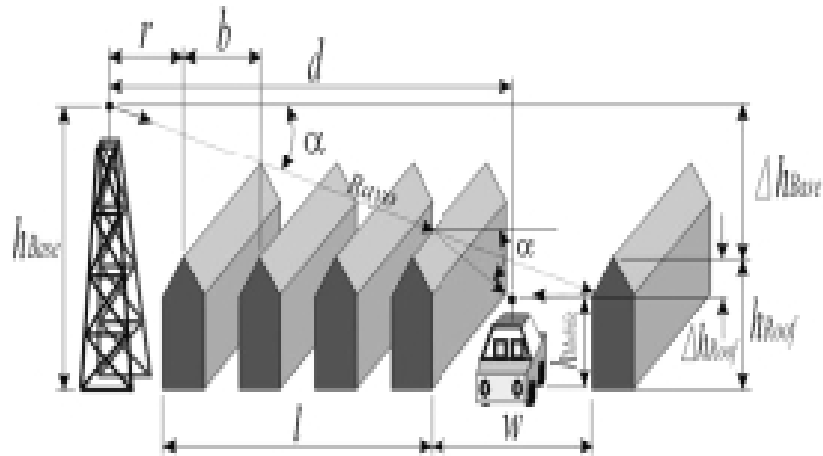
La ecuación es la escala de frecuencia especificada en megahertz (MHz).

Este modelo predice la pérdida de trayectoria en su conjunto y no dividir la pérdida en la pérdida de espacio libre y otras pérdidas.

**4.2.2 Modelo De Walfisch.** Este modelo es más complejo y se basa en parámetros como densidad de edificios en ambientes urbanos, altura promedio de los edificios, altura de las antenas, anchura de las calles, separación entre los edificios, dirección de la calle con respecto a la trayectoria directa de la antena transmisora y antena receptora. Es un modelo híbrido para sistemas celulares de PCS de corto alcance, y puede ser utilizado en las bandas UHF y SHF. Se utiliza para predicciones en micro células para telefonía celular. El modelo se también se utiliza para ambientes urbano denso y se base n diversos parámetros como lo son:

- Densidad de los edificios
- Altura promedio de los edificios
- Altura de antenas menor a los edificios ( ) *roof h*
- Anchura de las calles (w)
- Separación entre los edificios (b)
- Dirección de las calles con respecto a la trayectoria de la antena transmisora y el móvil

**Figura 28. Modelo De Walfisch.**



Fuente. <http://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2012/07/11/Walfisch>

Las pérdidas se modelan en las ecuaciones siguientes:

1) Cuando hay línea de vista en las antenas:

$$L_p(dB) = 42.6 + 26 \log(d) + 20 \log(f)$$

2) Cuando no hay línea de vista

$$L_b = L_O + L_{rts} + L_{msd}$$

Dónde.

$L_O$  : Pérdidas por el espacio libre

$L_{rts}$  : Pérdidas por difracción de múltiples esquinas de los techos de los edificios.

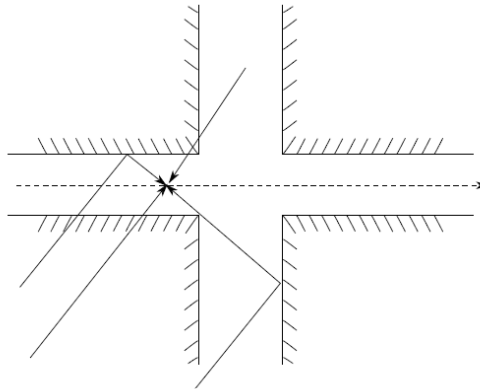
$L_{msd}$  : Pérdidas debido a una única difracción final cuando la onda se propaga hacia la calle.

El valor de  $L_b$  puede llegar a ser mínimo de  $L_O$  cuando  $L_{rts} + L_{msd} \leq 0$ .

La determinación de  $L_{rts}$  se base en el modelo de Ikegami junto con el ancho de las calles y la orientación de estas con respecto a las antenas transmisoras.

**4.2.3 Modelo Ikegami.** El modelo de Ikegami es anterior al modelo de Walfisch. Es también un modelo empírico pero con basado en la teoría de geométrica de rayos.

**Figura 29. Modelo Ikegami**



Fuente. <http://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2012/07/11/Ikegami>

**4.2.4 Modelo Cost 231 Walfisch-Ikegami.** El modelo del cost 231 se apoya en los dos modelos anteriores para predecir las pérdidas. Se traduce en la suma de las pérdidas por espacio libre  $L_b$  con las pérdidas de los modelos de Ikegami y un modelo extendido de Walfisch-Bertoni. Tenemos para el LOS:

$$L_b = 42,6 + 26 \log d + 20 \log f$$

Las pérdidas totales se computan para el caso NLOS:

$$L_{COST} = L_{free} + \begin{cases} L_{rts} + L_{msd} & \text{si } L_{rts} + L_{msd} > 0 \\ 0 & \text{si } L_{rts} + L_{msd} < 0 \end{cases}$$

Con  $L_{rts}$  son las pérdidas del modelo de Ikegami (Roof to Street) y en el otro caso las pérdidas del modelo de Walfisch (multiple screen diffraction).

**4.2.5 Modelo Longley – Rice.** El modelo Longley-Rice predice la posible propagación a larga-media distancia sobre terreno irregular. Fue diseñado para frecuencias entre los 20MHz y 20GHz, para longitudes de trayecto de entre 1 y 2000 Km.

También es un modelo estadístico pero toma en cuenta muchos más parámetros para el cálculo de las pérdidas:

- ▲ Altura media del terreno (ondulación)
- ▲ Refracción de la troposfera
- ▲ Perfiles del terreno
- ▲ Conductividad y permisividad del suelo
- ▲ Clima

Para el cálculo de la propagación, el modelo Longley-Rice tiene los siguientes parámetros comunes al de otros modelos de propagación:

**Frecuencia:** el rango de frecuencias nominales para el modelo varía entre 20MHz y 20GHz.

**ERP (Effective Radiated Power):** potencia efectiva de radiación, se introducen en las unidades que fije el usuario en la opción de configuración del sistema (mW, W, kW, dBm, dBW, dBk).

**Polarización:** debe especificarse si se trabaja con polarización horizontal o vertical. El modelo de Longley-Rice asume que ambas antenas tienen la misma polarización, vertical y horizontal.

**Refractividad:** la refractividad de la atmósfera determina la cantidad de “bending” o curvatura que sufrirán las ondas radio. En otros modelos, el parámetro de refractividad puede introducirse como la curvatura efectiva de la tierra, típicamente  $4/3$  (1.333). Para el modelo Longley-Rice, hay tres formas de especificar la refractividad.

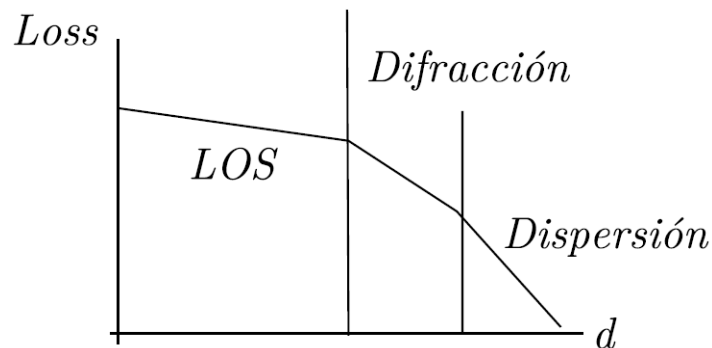
Se puede introducir el valor de refractividad de superficie directamente, típicamente en el rango de 250 a 400 Unidades de  $n$  (correspondiente a valores de curvatura de la tierra de 1.232 a 1.767). Una curvatura efectiva de la tierra de  $4/3$  ( $=1.333$ ) corresponde a una refractividad de superficie de valor aproximadamente 301 Unidades de  $n$ . Longley y Rice recomiendan este último valor para condiciones atmosféricas promedio. Se dice que la onda está en condiciones de  $k = 4/3$ , que es el valor para una atmósfera estándar, ya que de acuerdo a valores experimentales se encontró que éste era el valor medio.

De manera que el factor  $k$  multiplicado por el radio terrestre da el radio ficticio de la Tierra. La relación entre los parámetros “ $k$ ” y “ $n$ ”, viene dada por la siguiente expresión:

$$N_s = 179.3 \cdot \text{Ln} \left[ \frac{1}{0.046665 \left( 1 - \frac{1}{K} \right)} \right]$$

Para el cálculo de las pérdidas el modelo usa la teoría de la difracción, la refracción troposférica y el escattering del terreno. Las pérdidas adicionales están basadas en medidas tomadas en varias situaciones.

**Figura 30. Modelo Longley – Rice**



Fuente. <http://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2012/07/11/Rice>

#### 4.3 MODELOS DETERMINISTAS

**4.3.1 Modelo de propagación en espacio libre – ecuación de FRIIS.** El modelo de propagación en “espacio libre” se utiliza para predecir el nivel de potencia recibido en cierta ubicación, cuando no existe ningún objeto cercano al enlace que puede afectar la propagación electromagnética. Esto es una condición mucho más exigente que la conocida como “línea-de-vista” (line-of-sight, LOS) entre el transmisor (Tx) y receptor (Rx) que solo considera obstáculos en la línea que une ambos elementos del enlace. Un enlace puede ser LOS, pero ello no impide que objetos cercanos produzcan reflexiones que puedan afectar la señal que se propaga en el trayecto directo. El modelo de propagación de espacio libre es sin embargo una buena referencia de comparación para enlaces más complejos y es además bastante exacto cuando el efecto de elementos cercanos no es significativo, como ocurre por ejemplo en los enlaces satelitales.

El modelo predice que la potencia disminuye en función de la separación “ $d$ ” entre el Tx y Rx, de acuerdo a la “ecuación de Friis”:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r}{L} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

Donde  $P_t$  es la potencia transmitida,  $P_r(d)$  es la potencia recibida –que es una función de la separación entre transmisor y receptor-,  $G_t$  es la ganancia de la antena de transmisión,  $G_r$  es la ganancia de la antena de recepción,  $d$  es la separación Tx-Rx en metros,  $L$  son las pérdidas del sistema no relacionadas a la propagación ( $L \geq 1$ ) y  $\lambda$  es la longitud de onda de la señal electromagnética en metros.

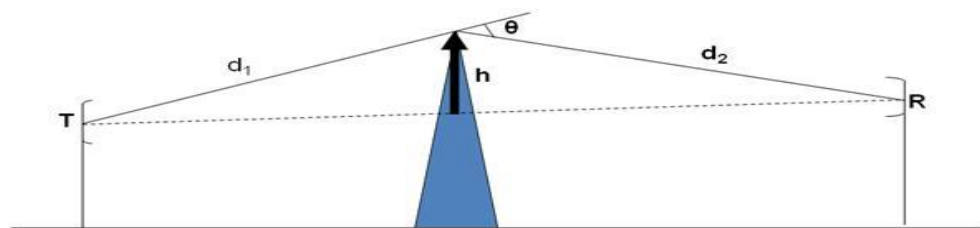
Las pérdidas de trayecto (*path loss*) representan la atenuación de la señal como una magnitud positiva, expresada en dB, y están definidas como la diferencia entre la potencia transmitida y recibida de acuerdo a la ecuación (2)

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

Vale la pena destacar el hecho que las ecuaciones (1) y (2) sólo son válidas en la región de campo lejano (o región de Fraunhofer), es decir, para aquellas distancias que superen  $2 \sqrt{2} d = D \lambda$ ,  $f d \gg \lambda$  donde  $D$  es la mayor dimensión lineal de la antena de transmisión.

#### 4.3.2 Modelo difracción por objetos delgados (filo de cuchilla).

**Figura 31. Filo de cuchilla**



Fuente. <http://modelosleyespropagacion.wordpress.com/2012/07/11/Filocuchilla>

El estudio del obstáculo agudo o filo de cuchillo puede hacerse mediante tres casos, el primero lo indica la figura anterior, donde el obstáculo está por encima de la línea de vista o rayo directo, lo cual nos da parámetros positivos, es decir, despejamiento  $h > 0$  y ángulo de difracción  $q > 0$ , y el coeficiente fresnel-kirchoff  $u$  sea del mismo signo del despeje por lo que es positivo y mayor a 0, haciendo que las pérdidas generadas por difracción sean superiores a 6dB.

El segundo caso, se indica cuando el obstáculo esta justo a la altura del rayo directo, con lo cual se obtiene una  $h=0$  y un  $q = 0$ , además de  $u = 0$ , obteniendo una pérdidas de 6dB.

El tercer caso puede observarse en la figura siguiente, donde el obstáculo está por debajo de la línea de vista o rayo directo, lo cual nos da parámetros negativos, es decir despejamiento  $h < 0$  y ángulo de difracción  $q < 0$ , y el coeficiente fresnel-kirchoff  $u < 0$ , tomando en cuenta que si  $u < -0,7$ , las pérdidas se reducen a 0dB.

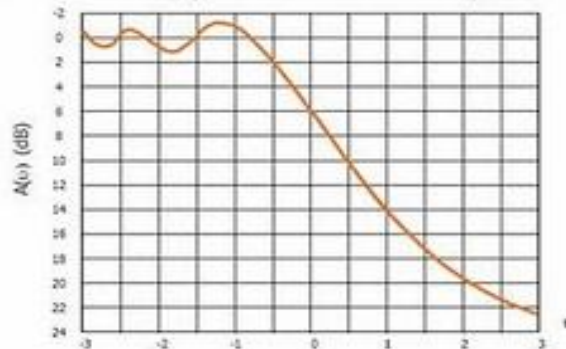
Las ecuaciones indican el cálculo de las pérdidas, y la gráfica la forma en la cual se van aproximando las expresiones.

**Figura 32. Ecuaciones del cálculo de las pérdidas**

$$v = h \sqrt{\frac{2(d_1 + d_2)}{\lambda d_1 d_2}}$$

h: altura de la cima sobre la línea que une los extremos. Si queda debajo  $h < 0$ .  
 $d_1, d_2$ : distancias de los extremos a la arista  
Todo en las mismas unidades

$$A(v) = 6.9 + 20 \log \left( \sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right); \text{ para } v > -0.7$$



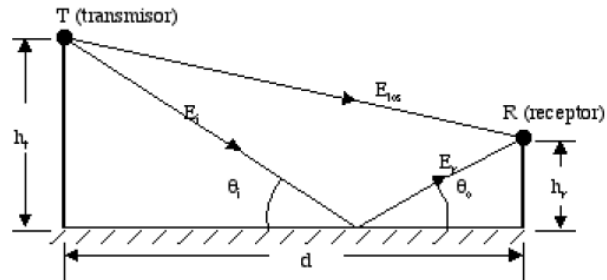
$$L(\nu) = \begin{cases} -20 \log(0.5 - 0.62\nu) & -0.8 < \nu < 0 \\ -20 \log(0.5 \exp(-0.95\nu)) & 0 < \nu < 1 \\ -20 \log(0.4 - \{0.1184 - (0.38 - 0.1\nu)^2\}^{1/2}) & 1 < \nu < 2.4 \\ -20 \log(0.225/\nu) & \nu > 2.4 \end{cases}$$

Fuente. <http://modelosleyespropagacion>



**4.3.3 Modelo de dos Rayos.** El modelo de Dos Rayos de reflexión terrestre es un modelo muy útil que se basa en óptica geométrica, y considera tanto la transmisión directa como una componente de propagación reflejada en la tierra entre el transmisor y el receptor. Se puede considerar que este modelo de gran escala es uno de los más adecuados para predecir la potencia de la señal en distancias de varios kilómetros tomando en cuenta que la antena del sistema celular debe tener una altura mínima de 50 metros.

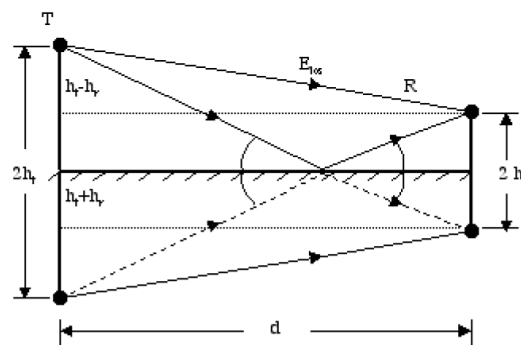
**Figura 33. Modelo de dos Rayos**



Fuente. <http://propagacion.ism.com/2013/07/13>

El segmento de separación entre transmisor y receptor puede considerarse plano, ya que en la mayoría de los sistemas celulares la distancia real entre el transmisor y receptor es de unas cuantas decenas de kilómetros.

**Figura 34. Modelo de dos Rayos**



Fuente. <http://propagacion.ism.com/2013/07/13>

## 5. METODOLOGÍA PROPUESTA

La metodología que queremos proponer se divide en dos etapas, la primera hace referencia a aspectos físicos y de visualización en el campo, la segunda a procedimientos matemáticos para determinar la eficiencia del radio enlace.

### 5.1 PRIMERA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA VISTA

**5.1.1 Evaluación física.** Se realiza la visita a los diferentes sitios (nodos) a interconectar verificando visibilidad con el nodo correspondiente, en esta actividad se debe tener en cuenta herramientas que permitan determinar la distancias y alturas entre los diferentes nodos.

- ✓ GPS
- ✓ GOOGLE EARTH
- ✓ ARCGIS
- ✓ MAPAS CARTOGRAFICOS

Luego se debe mencionar los enlaces en los cuales se debe establecer línea de vista.

**Nodo: 1Nombre– Nodo: 3Nombre**

**Nodo: 1Nombre– Nodo: 4Nombre**

**Nodo: 2Nombre– Nodo: 3Nombre**

Es importante soportarlo con fotografías por cada enlace, después se mencionan las alturas de los diferentes nodos a interconectar, puede ser de la siguiente manera:

Se propone el siguiente cuadro, estas medidas están dadas en metros; y la connotación que se tuvo en cuenta es la siguiente.

- ✓ N Nodo
- ✓ A1 Altura sobre el nivel del mar, de la ubicación geográfica del nodo
- ✓ A2 Altura de la edificación
- ✓ A3 Altura sobre el nivel del mar, de la base de la antena

**Tabla 9. Alturas sobre el nivel de los nodos**

N1	A1	m
	A2	m
	A3	m
N2	A1	m
	A2	m
	A3	m
N3	A1	m
	A2	m
	A3	m

Fuente. Director del proyecto

**Tabla 10. Interpretación del cuadro**

Enlace	Vista	Dist (m)
Nodo: 1Nombre– Nodo: 3Nombre	SI	x
Nodo: 1Nombre– Nodo: 4Nombre	SI	x
Nodo: 2Nombre– Nodo: 3Nombre	SI	x

Fuente. Director del proyecto

**5.1.2 Estaciones de telecomunicaciones cercanas.** En esta fase se debe tener en cuenta las estaciones de telecomunicaciones cercanas que trabajen en la misma frecuencia, para poder contrarrestar, se propone el siguiente cuadro.

**Tabla 11. Estaciones de telecomunicaciones cercanas**

Ubicación de la Antena	ISP	Frecuencia

Fuente. Director del proyecto

**5.1.3 Condiciones ambientales promedio.** Aquí se deben tener en cuenta las condiciones ambientales del lugar donde vayamos a realizar el radio enlace, con el ánimo de poder determinar que equipos utilizar en ambientes fríos, templados y cálidos, aclarando que en Colombia no se dan todas las estaciones, por ello se habla de ambientes fríos, templados y cálidos.

**5.1.4 Disponibilidad de servicios públicos.** Se debe determinar si donde se van a ubicar las antenas de comunicaciones, se tiene disponibilidad del servicio de luz ya que los equipos de comunicaciones necesitan energía, se debe determinar si la energía existente es de 110 V o 220 V, tener en cuenta que tablero y tipos de breaker, puesta a tierras y para rayos, en conclusión todo lo concerniente a energía.

**5.1.5 Facilidades de acceso al lugar.** Se debe saber si hay facilidad de acceso al lugar, con el ánimo de determinar si es necesario transportar los dispositivos en carro o en mula, esta fase es importante porque repercute en la rapidez o demora de instalación de los equipos de telecomunicaciones.

#### **5.1.6 Factores que repercuten en la eficiencia del radio enlace.**

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

✓ **Calidad de los conectores.** Se debe ser cuidadoso a la hora de realizar las conexiones, soldaduras de los conectores. Es preferible gastar algo más de dinero en conectores y herramientas de calidad y ganar en estabilidad del enlace y evitar pérdidas de señal. Para el conector como es difícil de saber con qué calidad está fabricado podemos considerar una pérdida de **0.5dB** por cada conexión. El conector en si no produce pérdida significativa a no ser que este defectuoso, la pérdida viene dado por su ensamblado al cable, dicha pérdida es difícil de valorar. En los conectores no sólo es importante la pérdida en el ensamblado con el cable sino la pérdida de inserción que corresponde al unir los dos conectores. Con el desgaste de los días, esta pérdida puede ser bastante considerada si se hace un mal uso de la conexión. Cuando se incorpora un conector externo, sea el que se le tenga que añadir una pérdida de **0.5dB** y lógicamente sumarle la ganancia de la antena que incorpore.

✓ **Longitud y calidad del pigtail.** El pigtail es un latiguillo de cable que en un extremo tiene un tipo de conector que irá conectado a la tarjeta (el tipo de conector depende del modelo de la tarjeta) y en el otro extremo tiene un conector al cual se conecta el cable coaxial. Cuanto más corto y de más calidad sea el pigtail, menor será la pérdida de señal. El pigtail se puede comprar hecho o bien hacerlo. Se aconseja que en ningún caso el pigtail supere los 2 metros de longitud, si bien unos 20cm pueden ser suficientes.

✓ **Longitud y calidad del cable coaxial.** El cable coaxial es uno de los factores más importantes a la hora de elegir el tipo de montaje que vamos a realizar. El coaxial deberá recorrer desde la antena (colocada habitualmente en el exterior del edificio y en el punto

más alto de este) hasta la ubicación del PC (normalmente dentro del edificio). Se debe 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. No existe longitud máxima para el cable coaxial, pero a mayor longitud, mayor pérdida. A continuación, se muestra una tabla de la relación entre modelos de cable LMR y pérdida de señal / metro longitudinal a una frecuencia de 2.4GHz.

**Tabla 12. Relación entre modelos de cable LMR y pérdida de señal / metro longitudinal a una frecuencia de 2.4GHz**

Tipo de cable	Perdida 802.11b/g (2.4GHz) dB/1m
LMR-100	1.3 dB por metro
LMR-195	0.62 dB por metro
LMR-200	0.542 dB por metro
LMR-240	0.415 dB por metro
LMR-300	0.34 dB por metro
LMR-400	0.217 dB por metro
LMR-500	0.18 dB por metro
LMR-600	0.142 dB por metro
LMR-900	0.096 dB por metro
LMR-1200	0.073 dB por metro
LMR-1700	0.055 dB por metro
RG-58	1.056 dB por metro
RG-8X	0.758 dB por metro
RG 174	2 dB por metro
RG-213/214	0.499dB por metro
Aircom	0.21 dB por metro.

Fuente. Trabajo de grado del director

✓ **Ganancias y tipos de antenas.** En la fórmula que veremos más tarde, veremos que la ganancia de las antenas determina la calidad final del enlace, así como el tipo de antena elegida. Podríamos clasificarlas en:

- Unidireccionales: el haz de rayos se emite en una sola dirección
- Omnidireccionales: el haz de rayos se emite en todas direcciones
- Sectoriales: el haz de rayos se emite en un ángulo determinado

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

✓ **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 seno). El hielo y la nieve influyen negativamente en las antenas cuando están en contacto directo con éstas. La lluvia en sí tiene poco impacto sobre la pérdida por propagación, pero en el caso de las antenas “flat-panel”, puede disminuir su rendimiento si se crea una película de agua en el panel de la antena. El cálculo teórico del alcance de una transmisión se basa en sumar los factores de la instalación que aportan ganancias y restar los que producen pérdidas. Al final, obtendremos un nivel de señal. El que este nivel de señal sea suficiente para una buena recepción depende del equipo receptor; Las antenas y amplificadores Wireless añaden ganancias. Al igual que las tarjetas y los puntos de acceso. Pero los conectores y los cables añaden pérdidas.

## 5.2 SEGUNDA ETAPA: CÁLCULO MATEMÁTICO

La segunda etapa hace referencia a la distancia física y lineal entre los dos puntos a interconectar permitiendo determinar si la conexión inalámbrica va a ser posible, es decir; es el cálculo de toda la cadena de transmisión que nos permite averiguar si un enlace se conectará o no. Además debemos tener en cuenta aspectos o factores que van a condicionar y determinar el funcionamiento y el rendimiento del enlace.

**5.2.1 Pérdida de propagación.** La pérdida de propagación es la cantidad de señal necesaria para llegar de un extremo de la conexión Wireless al otro. Es decir la cantidad de señal que se pierde al atravesar un espacio. Para hacer los cálculos en espacio libre (sin obstáculos) la fórmula quedaría resumida en la siguiente:

$$P_p = 20\log_{10}(d/1000) + 100$$

Donde **P<sub>p</sub>** indica la pérdida de propagación en decibelios (dB) y **d** es la distancia en metros o también:

$$P_p = 20\log_{10}(d) + 100$$

Donde **P<sub>p</sub>** indica la pérdida de propagación en decibelios (dB) y **d** es la distancia en kilómetros.

La pérdida de propagación está relacionada con el canal elegido. Es decir el canal 1 tiene una menor pérdida de propagación que el canal 11. A continuación mostramos el cuadro de la relación de frecuencia y canales:

**Tabla 13. Relación de frecuencias y canales**

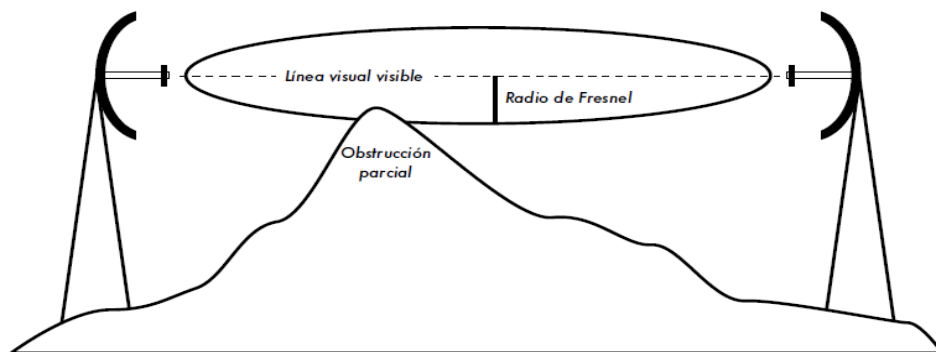
Canal	Frecuencia (GHz)
1	2,412
2	2,417
3	2,422
4	2,427
5	2,432
6	2,437
7	2,442
8	2,447
9	2,452
10	2,457
11	2,462
12	2,467
13	2,472
14	2,484

Fuente. Trabajo de grado del director

Por ejemplo, para la frecuencia de 2,4GHz, la pérdida de propagación en 100 metros es de 80db. Pero si pensamos en canales, para el canal 1 sería de 80.05db y para el canal 14 sería 80.3, podemos observar que no es determinante el canal.

**5.2.2 Zona de Fresnel.** La llamada zona de Fresnel es una zona de despeje adicional que hay que tener en consideración además de haber una visibilidad directa entre las dos antenas. Este factor deriva de la teoría de ondas electromagnéticas respecto de la expansión de las mismas al viajar en el espacio libre. Esta expansión resulta en reflexiones y cambios de fase al pasar sobre un obstáculo. El resultado es un aumento o disminución en el nivel de señal recibido. Se denomina zona Fresnel a la área (de forma elíptica) que sirve de propagación a una señal de radio. Esta zona se extiende por encima y por debajo de la línea recta entre el emisor y el receptor, y para que se considere útil debe de mantener alrededor del 60% de esa zona totalmente libre de obstáculos.

**Figura 35. Zona Fresnel**



Fuente. [www.enlacesruralesenambientesurbanos.com.br](http://www.enlacesruralesenambientesurbanos.com.br)

Aquí hay una fórmula para calcular la primera zona de Fresnel:

$$r = 17,31 * \text{sqrt}((d1*d2)/(f*d))$$

Donde **r** es el radio de la primera zona en metros, **d1** y **d2** son las distancias desde el obstáculo a los extremos del enlace en metros, **d** es la distancia total del enlace en metros, y **f** es la frecuencia en MHz. Note que esta fórmula calcula el radio de la zona. Para calcular la altura sobre el terreno, debe sustraerse este resultado de una línea trazada directamente entre la cima de las dos torres.

Por ejemplo, calculemos el tamaño de la primera zona de Fresnel en el medio de un enlace de 2km, transmitiendo a 2437MHz (802.11b canal 6):

$$r = 17,31 \text{ sqrt}(1 * (1000 * 1000) / (2437 * 2000))$$

$$r = 17,31 \text{ sqrt}(1000000 / 4874000)$$

$$r = 7,84 \text{ metros}$$

Suponiendo que ambas torres tienen 10 metros de altura, la primera zona de Fresnel va a pasar justo a 2,16 metros sobre el nivel del suelo en el medio del enlace. Pero, ¿cuán alta puede ser una estructura en este punto para despejar el 60% de la primera zona?

$$r = 0,6 * 17,31 \text{ sqrt}((1000 * 1000) / (2437 * 2000))$$

$$r = 4,70 \text{ metros}$$

Restando el resultado de los 10 metros, podemos ver que una estructura de 5,30 metros de alto en el centro del enlace aún permite despejar el 60% de la primera zona de Fresnel. Esto es normalmente aceptable, pero en el caso de que hubiera una estructura más alta habría que levantar más nuestras antenas, o cambiar la dirección del enlace para evitar el obstáculo.

**5.2.3 Nivel de recepción mínima en B (en dB).** = (Potencia\_A + Ganancia\_antena\_A – pérdida de conectores – Pérdida cable A) - Pp2.4GHz + (Ganancia\_antena\_B – pérdida de conectores - Pérdida Cable B).

A este valor hay que agregarle el margen que incluyen los dispositivos, dicho margen suele ser igual al 10%. Aunque habría que considerar que si nuestro enlace está expuesto a condiciones climáticas extensas, deberíamos asignarle como margen un valor igual a 20%. En enlaces realizados dentro de la ciudad el margen para agregarle a la sensibilidad es de 15%. Para que el enlace sea óptimo el valor del nivel de recepción mínima debe ser mayor que la sensibilidad más el margen.

**NRS > SEN +MAR**



## CALCULO DE LOS ENLACES

El enlace se calculara desde el origen (**Nodo: 2** \_\_\_\_\_ – Punto A) al destino (**Nodo: 3** \_\_\_\_\_ – Punto B):

**Nivel de recepción mínima en B (en dB) =** (Potencia\_A + Ganancia\_antena\_A – perdida de conectores – Perdida cable A) - Pp2.4GHz + (Ganancia\_antena\_B – perdida de conectores - Perdida Cable B)

## 6. CASO DE ESTUDIO

Para entender mejor la metodología propuesta la aplicaremos a un caso de estudio en la ciudad de Ocaña. Teniendo en cuenta las siguientes características.

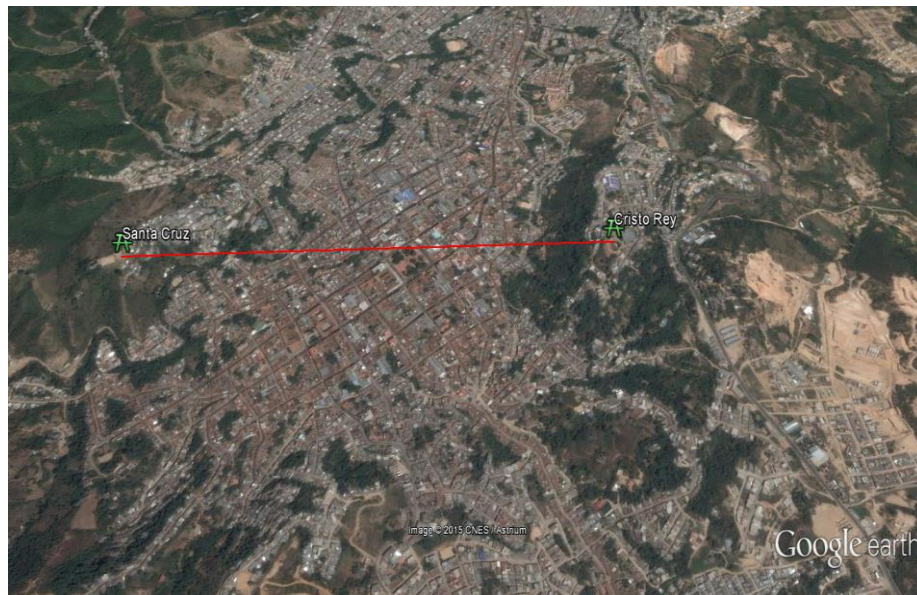
- ✓ Los nodos a interconectar serán Cristo rey y santa cruz.
- ✓ Frecuencia: 2.4 GHz
- ✓ Antenas direccionales con potencia de 27 dBm

A continuación se describe la metodología propuesta en el capítulo anterior.

### 6.1 PRIMERA ETAPA: DETERMINACIÓN DE LA LÍNEA VISTA

**6.1.1 Evaluación física.** A través de la herramienta google earth podemos visualizar los puntos a interconectar.

**Figura 36. Puntos o nodos a interconectar**



Fuente. Autores del proyecto

### Nodo 1: Santa Cruz – Nodo 2: Cristo Rey

Proponemos el siguiente cuadro, estas medidas están dadas en metros; y la connotación que se tuvo en cuenta es la siguiente.

- ✓ N Nodo
- ✓ A1 Altura sobre el nivel del mar, de la ubicación geográfica del nodo
- ✓ A2 Altura de la edificación
- ✓ A3 Altura sobre el nivel del mar, de la base de la antena

**Tabla 14. Alturas sobre el nivel de los nodos**

N1	A1	1260 m
	A2	3 m
	A3	1263 m
N2	A1	1263 m
	A2	3 m
	A3	1266 m

Fuente. Autores del proyecto

**Tabla 15. Interpretación del cuadro**

Enlace	Vista	Dist (m)
<b>Nodo 1: Santa Cruz – Nodo 2: Cristo Rey</b>	SI	1400 m

Fuente. Autores del proyecto

### 6.1.2 Estaciones de telecomunicaciones cercanas.

**Tabla 16. Estaciones de telecomunicaciones cercanas**

UBICACIÓN DE LA ANTENA	ISP	FRECUENCIA
SANTA CRUZ	AP_CristoRey_SanAntonio	5.74 GHZ
	NODOPN5	5.3 GHZ
	APT	5.26 GHZ
	CIRSTOREYDIGITALSUR	5.3 GHZ
	Celda_CristoRey_Tacaloa	5.24 GHZ

	AP_CristoRey_SanAntonio	5.745 GHZ
	TCM_OCANA	5.825 GHZ
	NODOPN5	5.3 GHZ
	APT	5.26 GHZ
<b>CRISTO REY</b>	CIRSTOREYDIGITALSUR	5.3 GHZ
	Celda_CristoRey_Tacaloa	5.24 GHZ
	AP_CristoRey_SanAntonio	5.745 GHZ
	UNICOM	5.748 GHZ
	NODOPN5	5.3 GHZ
	Celda_CristoRey_Tacaloa	5.24 GHZ
	AP_CristoRey_SanAntonio	5.745 GHZ
	AP_BA_SALLE	5.18 GHZ
	NODOCR3	5.805 GHZ
	NODOPN5	5.3 GHZ

Fuente. Autores del proyecto

**6.1.3 Condiciones ambientales promedio.** La temperatura promedio de Ocaña es de 22° C. Piso térmico templado, con una temperatura no inferior a los 17, centígrados y con tendencia al frío y al calor en sus límites superior e inferior. Clima tropical húmedo y seco con sequías bien marcadas y precipitaciones entre 1.000 y 2.000 milímetros anuales. Las lluvias que durante el primer semestre son escasas, se cuenta con ellas durante agosto, septiembre, octubre y noviembre que son aprovechadas para los cultivos semestrales.

**6.1.4 Disponibilidad de servicios públicos.** Si observamos la imagen satelital tres de los nodos se encuentran en el casco urbano de la ciudad y uno en el corregimiento de pueblo nuevo, por tal motivo se goza de los servicios públicos, para nuestro caso el más necesario es el de la energía, y actualmente la ciudad cuenta con un buen servicio.

**6.1.5 Facilidades de acceso al lugar.** La ubicación geográfica de los nodos a interconectar cuenta con vías de acceso carretables, esto permitirá rapidez en cualquier tipo de fallas.

## 6.2 SEGUNDA ETAPA: CÁLCULO MATEMÁTICO

Se describirán los cálculos matemáticos a continuación

**6.2.1 Pérdida de propagación.** La pérdida de propagación es la cantidad de señal necesaria para llegar de un extremo de la conexión Wireless al otro. Es decir la cantidad de señal que se pierde al atravesar un espacio. Para hacer los cálculos en espacio libre (sin obstáculos) la formula quedaría resumida en la siguiente:

$$P_p = 20\log_{10}(d/1000) + 100$$

Donde **Pp** indica la pérdida de propagación en decibelios (dB) y **d** es la distancia en metros o también:

De acuerdo a nuestro caso de estudio tenemos una distancia aproximada de 1400 metros, reemplazando tenemos

$$P_p = 20 \log_{10}(1400/1000) + 100 = 128 \text{ dBm}$$

$$P_p = 20 \log_{10}(1400/1000) + 100 = -128 \text{ dBm}$$

Nota: La pérdida en espacio libre se expresa en números negativos.

### 6.2.2 Zona de Fresnel.

#### Cálculo de la primera zona fresnel

##### Radio enlace 1

$$r = 17,32 * \text{sqrt}(D/(4*f))$$

$$D = 1.4 \text{ Km}$$

$$f = 2.4 \text{ GHz}$$

$$r = 6.6 \text{ m}$$

$$\text{Santa Cruz} = 1260 \text{ m}$$

$$\text{Cristo Rey} = 1263 \text{ m}$$

$$\text{Diferencia entre alturas} = (1263 \text{ m} - 1260 \text{ m}) = 3 \text{ m}$$

$$\text{Primera zona fresnel} = 6.6 \text{ m}$$

**6.2.3 Nivel de recepción mínima en B (en dB) =** (Potencia\_A + Ganancia\_antena\_A – pérdida de conectores – Perdida cable A) - Pp2.4GHz + (Ganancia\_antena\_B – pérdida de conectores - Perdida Cable B).

**NRS > SEN +MAR**

**Tabla 17. Cálculo del radio enlace 1**

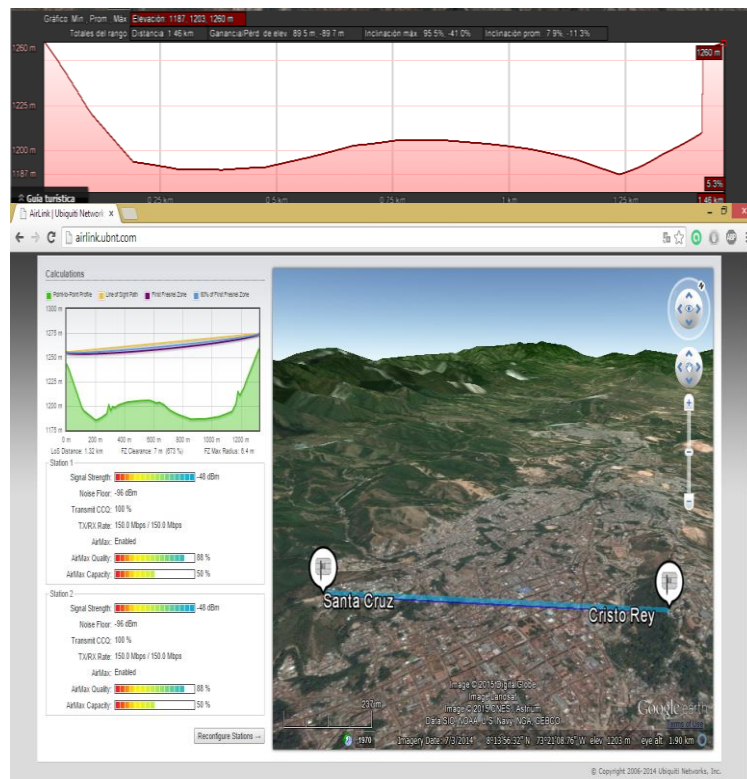
<b>Equipo 27 dBi</b>	
Potencia A	27 dBm
Ganancia antena A	27 dbi
Ganancia antena B	27 dbi
Perdida cables A	-1 dB
Perdida propagación	-128

		dBm
Perdida cables A		-1 dB
<b>NRS</b>		<b>- 17.0</b>
Sensibilidad		- 74
Margen		11.1
<b>Sensibilidad Margen</b>	<b>+</b>	<b>- 62.9</b>
<b>NRS &gt; SEN + MAR</b>		<b>si</b>

Fuente. Director del proyecto

De acuerdo a la tabla anterior se puede hacer el perfil de elevación del caso de estudio, ayudándonos con la herramienta google earth

**Figura 37. Perfil de elevación**



Fuente. Autores del proyecto

Se puede evidenciar la calidad del radio enlace entre Santa Cruz y Cristo rey.

## CONCLUSIONES

Los modelos de propagación se pueden clasificar con base al tipo de ambiente ya sea para ambientes cerrados o abiertos, incluso dentro de una misma banda pueden usarse dos modelos de propagación diferentes, esto se debe a la aplicación que se le dé al rango de frecuencias.

La ITU-R recoge todos los aspectos anteriores para la estimación de las pérdidas. Se basa en varios modelos según el tipo de escenario (con vista directa, con difracción etc). También recoge modelos de dispersión multitrayecto y valores típicos de dispersión.

Disponer de esta metodología permitirá a los estudiantes el ahorro de tiempo, pues dispondrán en un documento con toda la información necesaria para hacer radio enlaces.

El desconocimiento de información fundamental para desarrollar proyectos asociados a radioenlaces en espacios abiertos podría hacer incurrir a la organización o al contratista en asuntos legales y millonarias pérdidas de dinero, al no contar con el conocimiento en el tema vital para el éxito del mismo, que lo podrían llevar a invadir espacios electromagnéticos privados, a utilizar dispositivos tecnológicos y de telecomunicaciones sin la capacidad para soportar los requerimientos, entre otros.

En la encuestas, los estudiantes del Técnico en Telecomunicaciones se mostraron bastante interesados con la idea de poderles suministrar una herramienta con la metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM.

## RECOMENDACIONES

La recomendación principal es poner a disposición de toda la comunidad universitaria de la Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña, la información contenida en el presente proyecto, ya que será de gran apoyo para los estudiantes para complementar las actividades que se desarrollan dentro del programa.

Permitir que sea actualizado y retroalimentado por otros estudiantes ó docentes en la medida en que surjan nuevas herramientas de telecomunicaciones con el fin de que el presente proyecto no pierda vigencia en mucho tiempo.



## BIBLIOGRAFÍA

ALONSO MONTES, José L., ALMOROX GONZÁLEZ, Pablo, RODRÍGUEZ SALAZAR, José A. Wi-Fi: El diferente uso del espectro en EEUU y Europa. Tecnología y sociedad [CD-ROM], ed. 149, feb-mar 2010.

ALVARADO LEON, Richar Heraldo, Diseño e Implementación de un sistema de vigilancia con cámaras IP para la ferretería PROINDUPET CIA. LTDA, quito, mayo 2011.

Behrouz A. Forouzan. Transmisión de datos y redes de comunicaciones, 2a ed, Mc Graw Hill, 2002.

CÁRDENAS REYES, Jorge Luis, Propuesta para la implementación de un sistema de vídeo vigilancia IP inalámbrica, en el centro histórico de antigua Guatemala, septiembre de 2009.

CACHIGUANGO URBINA, Yuri Magaly, diseño de una red de video vigilancia local y remota sobre IP en tiempo real para una hostería aplicando el concepto de GREEN IT, Quito, noviembre de 2010.

Cisco Networking Academy Módulo 3.

FOROUZAN. Transmisión de datos y redes de comunicación. 2ª edición. México: McGraw - hill. 2002. ISBN: 8448133900. 453p.

MADRID MOLINA, Juna Manuel. Análisis Seguridad en redes inalámbricas 802.11, Universidad Icesi. SISTEMAS & TELEMÁTICA. 2004.

MILLÁN, Andrés F., DAZA Ronald., CAMPIÑO, James. Estudio de los puntos de acceso inalámbricos 802.11 en la ciudad de Cali usando las técnicas WAR-X [CD-ROM], Santiago de Cali. SISTEMAS & TELEMÁTICA, mar. 2006.

SUAREZ SERRANO, Jennifer, Diseño e Implementación de un control de administración remota utilizando cámaras IP, junio 2010.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de computadoras. 4ª edición. España: Pearson. 2003. ISBN 9789702601623. 786p.

TANENBAUM, Andrew S. Redes de computadoras. 4ª edición. España: Pearson. 2003. ISBN 9789702601623. p. 8.

## REFERENCIAS ELECTRONICAS

[www.telfneco.uy/propapagacion-ondas.pdf](http://www.telfneco.uy/propapagacion-ondas.pdf)

[www.ecrm.com/clase-4/propagacion.pdf](http://www.ecrm.com/clase-4/propagacion.pdf)

[www.propagationmodel.com](http://www.propagationmodel.com)

[https://es.wikipedia.org/wiki/Redes\\_de\\_Area\\_Local\\_Inal%C3%A1mbricas\(WLAN\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Redes_de_Area_Local_Inal%C3%A1mbricas(WLAN))

[https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito\\_cerrado\\_de\\_televisi%C3%B3n](https://es.wikipedia.org/wiki/Circuito_cerrado_de_televisi%C3%B3n)

<http://ciudaddemexico.olx.com.mx/circuito-cerrado-de-television-cctv-inalambrico-monitoreo-de-su-hogar-u-oficina-iid-1443253>

<http://wndw.net/>. Redes Inalámbricas en los Países en Desarrollo, Segunda edición, junio de 2007.

<http://videovigilancia-digital.blogspot.com> p. 1 de 9.

<http://www.redesbmc.com.ar/antenas/antenas2.4.htm>

<http://bogotacity.olx.com.co/camaras-ip-interiores-exteriores-alambricas-inalambricas-infrarrojas-solo-dia-iid-138198187>

<http://www.ubiquiticolombia.com/ubiquiti-aircam/>

<http://www.wifisafe.com/soporte/wifi/antenas><http://www.wifisafe.com/soporte/wifi/antenas>

<http://tienda.dmd.es/SMP-918-9-Antena-patch-direccional-869-925Mhz>

<http://www.cisco.com/en/US/products/ps6087/index.html>

<http://www.ds3comunicaciones.com/mikrotik>

<http://www.ubiquiticolombia.com/ubiquiti-bullet-m5hp/>

[http://dl.ubnt.com/ns2\\_datasheet.pdf](http://dl.ubnt.com/ns2_datasheet.pdf)

<http://www.wificlub.org/tag/potencia/>

**ANEXOS**



## Anexo A. Modelo de Encuesta

Universidad Francisco de Paula Santander Ocaña  
Facultad de Ingenierías

**Objetivo:** Obtener Información relevante para la propuesta de una metodología para hacer radio enlaces en ambientes abiertos utilizando la banda ISM.

**1. Le gustaría tener una metodología de radio enlaces que sirva como complemento a la asignatura de comunicaciones inalámbricas del técnico profesional en telecomunicaciones?**

- Si \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

---

---

---

---

**2. Ve la transmisión de información a través de radio enlaces como una tecnología futurista u obsoleta?**

- Futurista \_\_\_\_\_ Obsoleta \_\_\_\_\_

---

---

---

---

**3. Cree que los técnicos deben apostarle a la creación de manuales o metodologías para un mejor aprendizajes?**

- Si \_\_\_\_\_ NO \_\_\_\_\_

---

---

---

---

## Anexo B. Nanobridge 5GHz



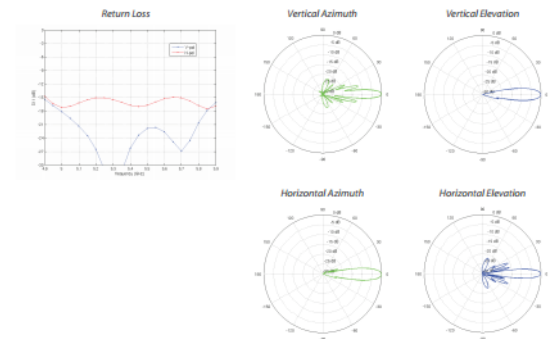
Datasheet

NanoBridge M

### Specifications

NB-SG25 - Output Power: 23 dBm							
	5 GHz TX POWER SPECIFICATIONS				5 GHz RX POWER SPECIFICATIONS		
	Data Rate	Avg. TX	Tolerance		Data Rate	Sensitivity	Tolerance
Tx/Power	MCS0	23 dBm	± 2 dB	Tx/Power	MCS0	-90 dBm	± 2 dB
	MCS1	23 dBm	± 2 dB		MCS1	-90 dBm	± 2 dB
	MCS2	23 dBm	± 2 dB		MCS2	-92 dBm	± 2 dB
	MCS3	23 dBm	± 2 dB		MCS3	-90 dBm	± 2 dB
	MCS4	22 dBm	± 2 dB		MCS4	-80 dBm	± 2 dB
	MCS5	20 dBm	± 2 dB		MCS5	-83 dBm	± 2 dB
	MCS6	19 dBm	± 2 dB		MCS6	-77 dBm	± 2 dB
	MCS7	18 dBm	± 2 dB		MCS7	-76 dBm	± 2 dB
	MCS8	23 dBm	± 2 dB		MCS8	-85 dBm	± 2 dB
	MCS9	23 dBm	± 2 dB		MCS9	-85 dBm	± 2 dB
	MCS10	23 dBm	± 2 dB		MCS10	-90 dBm	± 2 dB
	MCS11	23 dBm	± 2 dB		MCS11	-87 dBm	± 2 dB
	MCS12	22 dBm	± 2 dB		MCS12	-84 dBm	± 2 dB
	MCS13	20 dBm	± 2 dB		MCS13	-79 dBm	± 2 dB
	MCS14	19 dBm	± 2 dB		MCS14	-78 dBm	± 2 dB
MCS15	18 dBm	± 2 dB	MCS15	-75 dBm	± 2 dB		

NB-SG25 Antenna Information	
Gain	25 dBi
Max. VSWR	1.5:1



[www.nbr.com/aima](http://www.nbr.com/aima)