



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
Y TELECOMUNICACIONES.**

**“Trabajo de grado previo a la obtención del Título de Ingeniero en
Electrónica y Telecomunicaciones.”**

TRABAJO DE GRADUACION

Título del proyecto

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA FRACTAL
PARA BANDA ANCHA EN LA FRECUENCIA DE 2.4 – 2.5
GHZ, PRUEBAS DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS DE
RESULTADOS”**

**Autor:
JOSÉ VINICIO OLIVAREZ YACHIMBA
Directora: Ing. Deysi Inca Balseca**

Riobamba – Ecuador

2014 - 2015

Los miembros del Tribunal de Graduación del proyecto de investigación de título:

“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA FRACTAL PARA BANDA ANCHA EN LA FRECUENCIA DE 2.4 – 2.5 GHZ, PRUEBAS DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS”

Presentado por:

José Vinicio Olivarez Yachimba

Y dirigida por:

Ing. Deysi Inca Balseca

Una vez escuchada la defensa oral y revisado el informe final del proyecto de investigación con fines de graduación escrito en la cual se ha constatado el cumplimiento de las observaciones realizadas, remite la presente para uso y custodia en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería de la UNACH.

Para constancia de lo expuesto firman:

Ing. Yesenia Cevallos
Presidente del Tribunal



Firma

Ing. Deysi Inca Balseca
Director



Firma

Ing. Daniel Santillán
Miembro del Tribunal



Firma

AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Graduación, nos corresponde exclusivamente a: José Vinicio Olivarez Yachimba y Deysi Inca Balseca; y el patrimonio intelectual de la misma a la Universidad Nacional de Chimborazo.



José Vinicio Olivarez Yachimba

Autor



Ing. Deysi Inca Balseca

Director

AGRADECIMIENTO

A Dios al Divino Niño que me iluminaron durante mis años de estudio.

A la Universidad Nacional de Chimborazo que me abrió las puertas para poder seguir mi carrera y cumplir mis sueños como una persona profesional.

A mi tutor de Tesis Deysi Inca que siempre estuvo apoyándome en cualquier duda e inquietud que tenía para poder realizar mi tesis.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo en primer lugar a Dios que me permite compartir este momento tan importante en mi vida con los seres que yo amo.

A mis queridos Padres que me dieron la vida y que gracias a su esfuerzo, trabajo y apoyo incondicional e llegado a culminar una etapa muy importante en mi vida, me faltan palabras para dedicarles este triunfo muy grande en mi vida, que sin su ayuda no habría podido alcanzarlo, gracias por todo papá y mamá, gracias por brindarme su ejemplo y hacerme una persona de bien.

A todos mis hermanos Luis, Nelly, Oswaldo, Yolanda, Héctor, Lucrecia y Guadalupe que fueron un ejemplo y guía para poder sobresalir que siempre estuvieron conmigo y que de una u otra forma nunca me abandonaron, siempre estuvieron apoyándome en lo que podían, a mis queridos sobrinos que me compartieron su alegría en mis momentos triste y lograron sacarme una sonrisa para poderme levantarme y seguir adelante.

INDICE

Título del proyecto	i
RESUMEN.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPITULO I.....	1
1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	1
1.1 DEFINICIÓN DE ANTENA	1
1.1.2 Función de una antena	1
1.2 PRESENTACIÓN FRACTAL.....	3
1.2.1 Definición de Fractal	4
1.2.2 Geometría Fractal	5
1.2.3 Clasificación de los Fractales	6
1.2.3.1 Autosimilitud Exacta:	7
1.2.3.2 Cuasiautosimilitud:.....	7
1.2.3.3 Autosimilitud estadística:	7
1.2.3.4 Fractales Lineales	7
1.2.3.5 Fractales no lineales	8
1.2.4 Propiedades de los Fractales.....	9
1.2.4.1 Su dimensión no es un número entero	9
1.2.4.2 Estructura infinita.....	10
1.2.4.3 Autosimilitud o autosemejanza	10
1.3 TRIÁNGULO DE SIERPINSKI.....	11
1.3.1 Área de la Placa	11
1.3.2 Iteración	13
1.3.3 Antenas simples basadas en Geometrías Fractales	14
1.3.4 Fractales para minimizar el tamaño de las Antenas.....	15
1.3.5 Fractales para obtener antenas multibanda	15
1.3.6 Antenas Fractales Multibanda	16
1.4 LAS ANTENAS Y LA FRECUENCIA	16
1.4.1 SISTEMA DE COORDENADAS ESFÉRICO	17
1.5 PARÁMETROS DE UNA ANTENA.....	18
1.5.1 Impedancia.....	18
1.5.2 Eficiencia de radiación.....	18
1.5.3 Resistencia de radiación.....	19
1.5.4 Densidad de potencia	19

1.5.6	ANCHO DE BANDA.....	20
1.5.7	Directividad y Ganancia	23
1.5.8	COEFICIENTE DE REFLEXIÓN (P)	25
1.5.9	VSWR – ROE (Relación de Ondas Estacionaria)	26
1.5.10	PATRÓN DE RADIACIÓN.....	28
1.5.11	Lóbulo principal y secundario	29
1.5.11.1	Relación entre lóbulo principal y secundario (NLPS)	30
1.6	POLARIZACIÓN	32
1.6.1	Tipos de polarización.....	32
1.7	TECNOLOGÍA Wi-Fi.....	33
1.7.1	Estándares WIFI	35
1.7.2	Conexión o acceso a internet	36
1.7.3	El estándar 802.11.....	37
1.8	BÚSQUEDA DE UNA RED WI-FI	39
1.8.1	Redes Wi-Fi comerciales	40
1.8.2	Redes Wi-Fi municipales.....	40
1.8.3	Redes Wi-Fi privadas.....	40
2.	METODOLOGÍA	41
2.1	TIPO DE ESTUDIO.....	41
2.2	POBLACIÓN Y MUESTRA	41
2.3	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES	42
2.4	PROCEDIMIENTOS	45
2.4.1	ADAPTADOR USB INALÁMBRICO DE ALTA POTENCIA DE 150 MBPS TL- WN7200ND	45
2.4.1.1	Prestaciones:.....	46
2.4.1.2	Adaptador inalámbrico.....	46
2.4.3	De alta Potencia para una fuerte penetrabilidad	46
2.4.4	Alta sensibilidad de recepción de señal fiable	47
2.4.5	Antena externa desmontable de 5 DBI	47
2.4.6	Un botón de configuración de seguridad	47
2.4.7	Diseño estilo escritorio, y 1,5 cables de extensión Usb.....	48
2.4.8	CD incluido para un fácil manejo	48
2.4.9	Características.....	48
2.5	FIBRA DE VIDRIO	49
2.6	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COAXIALES	50

2.6.1	Especificaciones físicas y básicas.....	50
2.6.2	Características.....	52
2.6.3	Estándares.....	52
2.6.4	Régimen de voltaje y especificaciones relacionadas.....	53
2.6.5	Impedancia.....	53
2.7	CONECTORES.....	54
2.8	ADAPTADORES Y PIGTAILS.....	55
2.9	BENEFICIOS DE UNA ANTENA FRACTAL.....	56
2.10	DISEÑO DEL MONOPOLO SIERPINSKI.....	56
2.10.1	Altura de la antena.....	59
2.10.2	Frecuencia de Resonancia.....	59
2.10.3	Cálculos del Triángulo de Sierpinski.....	59
2.11	PARÁMETROS DEL MONOPOLO SIERPINSKI.....	61
2.11.1	Impedancia.....	61
2.11.2	Longitud de onda.....	61
2.11.3	Ancho de banda.....	61
2.11.4	Coefficiente de reflexión.....	62
2.11.5	Eficiencia de la antena.....	63
2.11.6	Eficiencia de radiación.....	63
2.11.7	Directividad.....	63
2.11.8	Ganancia.....	64
2.11.8	Cálculo de acople.....	64
2.12	SIMULACION DE LA ANTENA EN SOFTWARE MMANA.....	67
CAPITULO III RESULTADOS.....		71
3.1	PRUEBAS REALIZADAS CON LA ANTENA FRACTAL.....	71
3.2	PRUEBAS EN EL ANALIZADOR DE ESPECTROS.....	72
3.3	PRUEBAS CON EL DISPOSITIVO EN SUS DIFERENTES CANALES Y POTENCIA DE LA ANTENA.....	73
3.4	PRUEBAS DE RECEPCIÓN CON LA ANTENA DISEÑADA Y LA DISTANCIA.....	75
3.5	PRUEBAS DE POTENCIA, ANCHO DE BANDA, VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN, PAQUETES TX, RX Y Y PAQUETES CON ERROR DE LA ANTENA DISEÑADA Y LA ANTENA COMERCIAL.....	76
3.5.1	POTENCIA Y DISTANCIA RECIBIDA POR LA ANTENA DISEÑADA Y ANTENA COMERCIAL.....	76
3.5.2	ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA ANTENA DISEÑADA Y COMERCIAL.....	77

3.5.3	PAQUETES TRANSMITIDOS, RECIBIDOS Y PAQUETES CON ERROR DE LA ANTENA DISEÑADA Y LA ANTENA COMERCIAL	79
3.5.4	ARCHIVO UTILIZADO Y TIEMPO DE DESCARGA	80
3.6	ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA EL PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS REALIZADAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO.....	81
3.7	PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS	82
3.7.1	VALIDACIÓN DEL CHI CUADRADO	82
3.7.2	PROBABILIDAD.....	83
3.7.3	GRADOS DE LIBERTAD.....	83
3.8	ANÁLISIS FINANCIERO.....	84
	CAPITULO IV DISCUSIÓN	85
	CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1	CONCLUSIONES.....	86
5.2	RECOMENDACIONES	86
	CAPITULO VI PROPUESTA	88
6.1	TITULO DE LA PROPUESTA	88
6.2	INTRODUCCIÓN.....	88
6.3	OBJETIVOS.....	88
6.3.1	OBJETIVO GENERAL.....	88
6.3.2	OBJETIVO ESPECÍFICO.....	89
6.4	FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA	89
6.4.1	TL –WN7200ND	89
6.4.2	WIFI.....	89
6.5	DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA	90
6.6	DISEÑO ORGANIZACIONAL	90
6.7	MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA	91
	CAPITULO VII	92
	UNIDAD BIBLIOGRAFIA.....	92
	CAPITULO VIII	95
	ANEXOS	95
	ANEXO 1.....	95
	PRUEBAS DE LA ANTENA CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS.....	95
	ANEXO 2.....	99
	PRUEBAS CON EL DISPOSITIVO EN SUS DIFERENTES CANALES Y POTENCIA DE LA ANTENA.....	99
	ANEXO 3.....	112
	PRUEBAS DE LA ANTENA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA Y SU POTENCIA.....	112
	ANEXO 4.....	119

ANALISIS DE PAQUETES MEDIANTE UN SOFTWARE DE TRAFICO DE
RED 119

ANEXO 5..... 122

ESPECIFICACIONES TP-LINK TL-WN7200ND..... 122

DEFINICION DE TÉRMINOS 125

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DIAGRAMA DE BLOQUES ENTRE TRANSMISOR Y RECEPTOR	2
FIGURA 2 EJEMPLOS DE GEOMETRÍAS FRACTALES QUE SE ENCUENTRAN EN LA NATURALEZA	4
FIGURA 3 EJEMPLOS DE GEOMETRÍAS FRACTALES BÁSICAS. DE IZQUIERDA A DERECHA: EL CONJUNTO CANTOR, LA CURVA DE KOCH Y EL TRIÁNGULO DE SIERPINSKI.	5
FIGURA 4 EN LA NATURALEZA TAMBIÉN APARECE GEOMETRÍA FRACTAL.....	5
FIGURA 5 FRACTALES LINEALES (CREADOS A TRAVÉS DE FRACTINT).....	8
FIGURA 6 FRACTALES NO LINEALES (CREADOS A TRAVÉS DE FRACTINT)	8
FIGURA 7 N. KOCH Y LA CURVA DE KOCH CONOCIDA COMO EL COPO DE NIEVE	9
FIGURA 8 AUTOSIMILITUD EN LA CARPETA DE SIERPINSKI.....	10
FIGURA 9 AUTOSIMILITUD EN EL CONJUNTO DE JULIA	11
FIGURA 10 W. SIERPINSKI Y EL TRIÁNGULO DE SIERPINSKI.....	11
FIGURA 11 ÁREA DE LA PLACA	12
FIGURA 12 TRIÁNGULO DE SIERPINSKI CON SUS LADOS	12
FIGURA 13 INTERACCIÓN 0	13
FIGURA 14 INTERACCIÓN 1	13
FIGURA 15 INTERACCIÓN 2	13
FIGURA 16 INTERACCIÓN N	14
FIGURA 17 DIAGRAMA EN TRES DIMENSIONES	17
FIGURA 18 ANCHO DE BANDA Y SUS FRECUENCIAS, INICIAL CENTRAL Y FINAL.....	21
FIGURA 19 PARÁMETROS DE REFLEXIÓN.....	22
FIGURA 20 RELACIÓN DE ONDA ESTACIONARIA Y EL ANCHO DE BANDA	26
FIGURA 21 PATRÓN DE RADIACIÓN	29
FIGURA 22 LÓBULO PRINCIPAL Y SECUNDARIO	30
FIGURA 23 RELACIÓN DELANTE- ATRÁS (D/A) DE ANTENA DIRECTIVA	31
FIGURA 24 DIAGRAMAS DE RADIACIÓN ISOTRÓPICO.	31
FIGURA 25 POLARIZACIÓN DE UNA ONDA ELECTROMAGNÉTICA	32
FIGURA 26 TIPOS DE POLARIZACIÓN	33
FIGURA 27 REPRESENTACIÓN DE CONEXIÓN INALÁMBRICA.....	33
FIGURA 28 MODO DE INFRAESTRUCTURA	38
FIGURA 29 MODO AD-HOC	38
FIGURA 30 DISEÑO DEL TRANSMISOR Y EL RECEPTOR DE LA ANTENA FRACTAL.....	45
FIGURA 31 AMPLIFICADOR DE ALTA POTENCIA	45
FIGURA 32 AMPLIFICADOR DE ALTA PENETRABILIDAD	47
FIGURA 33 FIBRA DE VIDRIO	49
FIGURA 34 CABLE COAXIAL	50
FIGURA 35 TIPOS DE CONECTORES	54
FIGURA 36 TIPOS DE ADAPTADORES.....	55
FIGURA 37 DISEÑO DEL TRIÁNGULO DE SIERPINSKI.....	57
FIGURA 38 TRIÁNGULO DE SIERPINSKI SEGUNDA ITERACIÓN.	60
FIGURA 39 DISEÑO DEL TRIÁNGULO DE SIERPINSKI EN MANNA.....	60
FIGURA 40 CIRCUITO EQUIVALENTE PARA EL ACOPLE	66
FIGURA 41 CIRCUITO ABIERTO CON EL PRIMER STUB EN MMANA-GAL.....	66

FIGURA 42 SIMULACIÓN DE LA ANTENA CON SUS RESPECTIVAS MEDIDAS.....	67
FIGURA 43 IMPEDANCIA DE ENTRADA MMANA	67
FIGURA 44 RELACIÓN DE ONDA ESTACIONARIA EN MMANA	68
FIGURA 45 GANANCIA DE LA ANTENA EN MMANA	68
FIGURA 46 FRECUENCIA DE OPERACIÓN DE LA ANTENA EN HFSS	69
FIGURA 47 RESISTENCIA DE ENTRADA EN HFSS	69
FIGURA 48 DIAGRAMA DE CAMPO LEJANO 3D CON LA ANTENA EN MMANA	70
FIGURA 49 POLARIZACIÓN HORIZONTAL Y VERTICAL EN MMANA.....	70
FIGURA 50 CONEXIÓN CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS Y LA ANTENA.....	71
FIGURA 51 PRUEBA DE LA ANTENA DISEÑADA CON SU FRECUENCIA DE OPERACIÓN	72
FIGURA 52 PRUEBA DE LA ANTENA CON SU FRECUENCIA DE OPERACIÓN	72
FIGURA 53 CANALES Y FRECUENCIA DE RECEPCIÓN	73
FIGURA 54 CANAL Y PORCENTAJE DE RECEPCIÓN	74
FIGURA 55 CANAL Y POTENCIA DE RECEPCIÓN	74
FIGURA 56 PRUEBA 1 A UNA DISTANCIA DE 5 METROS CON SU RESPECTIVO PORCENTAJE Y POTENCIA	75
FIGURA 57 POTENCIA VERSUS DISTANCIA DE LAS ANTENAS DISEÑADA Y COMERCIAL	77
FIGURA 58 DISTANCIA VERSUS VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA ANTENA DISEÑADA Y ANTENAS COMERCIAESL.....	78
FIGURA 59 PAQUETES TX, RX Y PAQUETES CON ERROR VS DISTANCIA.....	79
FIGURA 60 DISTANCIA EN FUNCIÓN DEL TIEMPO	80
FIGURA 61 CURVA DE CHI CUADRADO	83
FIGURA 62 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	100
FIGURA 63 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	101
FIGURA 64 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	102
FIGURA 65 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	103
FIGURA 66 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	104
FIGURA 67 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	105
FIGURA 68 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	106
FIGURA 69 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	107
FIGURA 70 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	108
FIGURA 71 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	109
FIGURA 72 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	110
FIGURA 73 CANAL Y PORCENTAJE DE POTENCIA	111
FIGURA 74 PORCENTAJE DE PAQUETES TRANSMITIDOS	120
FIGURA 75 TIPOS DE PROTOCOLOS	121
FIGURA 76 TP LINK TL WN 7200.....	124

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 DENOMINACIÓN DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS POR DÉCADAS.....	2
TABLA 2 DENOMINACIÓN HABITUAL DE LAS BANDAS DE FRECUENCIAS EN MICROONDAS	3
TABLA 3 DENOMINACIÓN DE LAS BANDAS A FRECUENCIAS SUPERIORES.....	3
TABLA 4 ESTÁNDARES WIFI CON EL ANCHO DE BANDA Y FRECUENCIA.....	35
TABLA 5 ESTÁNDARES DE RED 802.11	37
TABLA 6 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES.....	42
TABLA 7 OPERACIONALIZACIÓN DE HIPÓTESIS	43
TABLA 8 OPERACIONALIZACIÓN DE HIPÓTESIS	44
TABLA 9 TABLA DE RG.....	52
TABLA 10 POTENCIA Y DISTANCIA DE LAS ANTENAS COMERCIAL Y DISEÑADA	76
TABLA 11 ACHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA ANTENA DISEÑADA Y COMERCIAL	77
TABLA 12 PAQUETES TRANSMITIDOS, RECIBIDOS Y PAQUETES CON ERROR DE LA ANTENA DISEÑADA Y COMERCIAL.....	79
TABLA 13 DISTANCIA Y TIEMPO DE DESCARGA	80
TABLA 14 POTENCIA Y PORCENTAJE DE RECEPCIÓN DE LA ANTENA FRACTAL	81
TABLA 15 HIPÓTESIS NULA Y ALTERNATIVA.....	82
TABLA 16 VALOR CRÍTICO.....	83
TABLA 17 PRESUPUESTO TOTAL DE MATERIALES.....	84

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene como propósito principal el diseño y la construcción de una antena fractal para la banda ancha en la frecuencia de 2.4-2.5 GHZ sobre una placa de bakelita que permita la recepción de ondas electromagnéticas, este tipo de antena será una herramienta útil para la recepción de WIFI, son multibanda o de un espectro expandido y muy compactas ya que presentan una gran utilidad en telefonía móvil y en comunicación por microondas. Para este efecto, primero es necesario recabar conceptos referentes a las características funcionales de las antenas, tipos de estructuras y los elementos que son comúnmente empleados como elementos radiantes.

Para realizar el diseño y construcción de este tipo de antena nos hemos basado en la geometría fractal específicamente en Triángulo de Sierpinski, para lo cual utilizaremos el programa MMANA, para simular el comportamiento de las antena y la frecuencia de resonancia para la que está diseñada que se corresponden con los servicios de comunicaciones WI-FI.

Para el Capítulo III se realiza el diseño e implementación de la estructura fractal y las pruebas de funcionamiento del dispositivo radiante proyectado, analizando su funcionamiento dentro del rango de frecuencia establecido, para comprobar buen comportamiento de sus parámetros en simulación y medición.



Lic. Geovanny Armas

2013/01/15

SUMMARY

The main purpose of this research work is the design and construction of a fractal antenna for broadband in a frequency of 2.4-2.5 GHz on a bakelite plate which allows the reception of electromagnetic waves, this type of antenna will be a useful tool for receiving wireless internet, they are multi band or of an expanded spectrum and very compact since they are very useful in mobile telephones and in microwave communication.

For this effect, it is necessary to obtain concepts regarding the functional characteristics of antennas, structure types and elements which are commonly used as radiating elements.

For the design and construction of this type of antenna we have been based on fractal geometry, specifically the Sierpinski triangle, for which we will use the Ansoft (HFSS 13.0) software to simulate the behavior of the antenna and the resonance frequency for which it is designed in order to correspond with the services of Wi-Fi communications.

Chapter III deals with the design and implementation of the fractal structure and the functioning tests of the radiating device projected by analyzing its performance within the set frequency range in order to check the good performance of its simulation and measurement parameters.


CENTRO DE INVESTIGACION

CHIMBORAZO

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los Sistemas Móviles de Comunicaciones (Celulares, Radio Teléfonos, etc.) es de vital importancia el uso racional del espacio. Sin embargo un elemento crucial del sistema que utiliza mucho de ese espacio es la antena.

Para solucionar este problema se elige por construir una Antena Fractal, las cuales son más compactas y tienen ciertas propiedades que las hacen preferibles a las antenas tradicionales, debido a que pueden ser construidas a varias bandas de operación y que tienden a la miniaturización.

Para que esta condición se lleve a cabo se requiere, entre otras consideraciones, contar con una antena capaz de brindar una adecuada conectividad en la frecuencia de operación involucrada.

Mediante el diseño y construcción de las Antenas Fractales es el de ampliar las bandas de frecuencia en los sistemas móviles. El utilizar una antena para cada banda es poco utilizado, así se busca tener una sola antena que funcione para varias frecuencias.

El tamaño de una antena siempre va relacionado estrechamente con la longitud de onda de la banda a ser transmitida por medio de esta; es por eso que los Fractales permiten diseñar antenas multibanda, con la geometría fractal se obtienen antenas que contienen en un solo objeto, copias de él mismo en diferentes tamaños, y esto permite el mismo comportamiento a diferentes frecuencias.

CAPITULO I

1. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.1 DEFINICIÓN DE ANTENA

Una antena es un dispositivo generalmente metálico capaz de radiar y recibir ondas de radio que adapta la entrada/salida del receptor/transmisor al medio. Una antena, bajo definición formal, es un dispositivo que sirve para transmitir y recibir ondas de radio. Convierte la onda guiada por la línea de transmisión (el cable o guía de onda) en ondas electromagnéticas que se pueden transmitir por el espacio libre.

La IEEE (Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos) define una antena como “aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada específicamente para radiar o recibir ondas electromagnéticas. Si bien sus formas son muy variadas, todas las antenas tienen en común el ser una región de transición entre una zona donde existe una onda electromagnética guiada y una onda en el espacio libre, a la que puede además asignar un carácter direccional. La representación de la onda guiada se realiza por voltajes y corrientes (hilos conductores y líneas de transmisión) o por campos (guías de ondas) en el espacio libre.”¹

Las antenas también deben dotar a la onda radiada de una polarización. La polarización de una onda es la figura geométrica descrita, al transcurrir el tiempo, por el extremo del vector del campo eléctrico en un punto fijo del espacio en el plano perpendicular a la dirección de propagación.

1.1.2 Función de una antena

“La misión de la antena será radiar la potencia que se le suministra con las características de direccionalidad adecuadas a la aplicación.” Por ejemplo, en radiodifusión o comunicaciones móviles se pretende radiar sobre la zona de

¹ **FUENTE:** CARDAMA Angel, JOFRE Lluís, RIUS Juan, ROMEU Jordi, BLANCH Sebastián, Antenas, UPC Edicions, Barcelona, 2002

cobertura de forma omnidireccional, mientras que en radiocomunicaciones fijas interesará que las antenas sean direccionales.

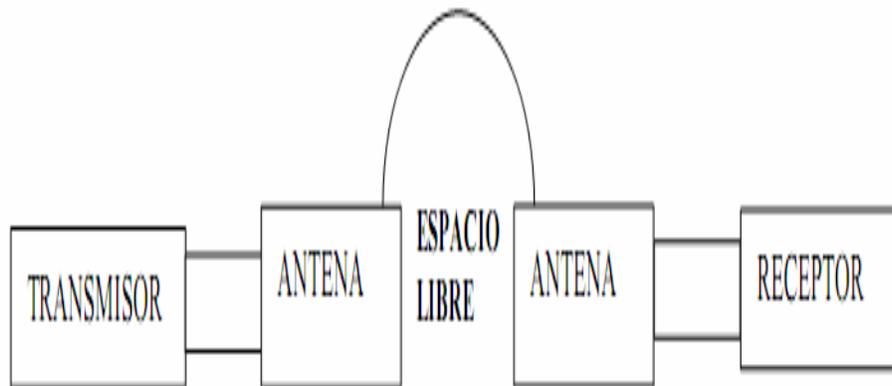


Figura 1 Diagrama de bloques entre transmisor y receptor²

Toda onda se caracteriza por su frecuencia (f) y su longitud de onda (λ), ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio; en el vacío esta velocidad es una constante y es igual a $C=3 \times 10^8$ m/s. El conjunto de todas las frecuencias, o espectro de frecuencias, se divide por décadas en bandas,³ con la denominación presentada en la tabla 1. Cada aplicación tiene asignada por los organismos de normalización unas determinadas porciones de ese espectro.

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	DENOMINACIÓN
MF	0,3-3 MHz	1-100 m	Medium Frequency
HF	3-30 MHz	100-10 m	High Frequency
VHF	30-300 MHz	10-1 m	Very High Frequency
UHF	0,3-3 GHz	1-100 cm	Ultra High Frequency
SHF	3-30 GHz	100-10 cm	Super High Frequency
EHF	30-300 GHz	10-1 cm	Extremely High Frequency

Tabla 1 Denominación de las bandas de frecuencias por décadas⁴

² **FUENTE:** Departamento de TCI, Líneas, Antenas y Propagación, Escuela de Especialidades Antonio Escaño, pag X-1

³ **FUENTE:** CARDAMA Angel, JOFRE Lluís, RIUS Juan, ROMEU Jordi, BLANCH Sebastián, Antenas, UPC Edicions, Barcelona, 2002

⁴ **FUENTE:** CARDAMA Angel, Antenas, UPC Edicions, Barcelona, 2002, pag 16

En las frecuencias de microondas existe una subdivisión que data de los primeros tiempos del radar, recogida en la tabla 2, que es ampliamente utilizada en la actualidad, sobre todo en comunicaciones satelitales.

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA
L	1-2 GHz	30-15 cm
S	2-4 GHz	15-7,5 cm
C	4-8 GHz	7,5-3,75 cm
X	8-12 GHz	3,75-2,42 cm
Ku	12,4-18 GHz	2,42-1,66 cm
K	18-26,5 GHz	1,66-1.11 cm
Ka	26,5-40 GHz	11,1-7,5 cm
Mm	40-300 GHz	7,5-1mm

Tabla 2 Denominación habitual de las bandas de frecuencias en microondas⁵

A frecuencias superiores nos encontramos con las ondas electromagnéticas correspondientes al infrarrojo, visible, ultravioleta y rayos X (tabla 3)

BANDA	FRECUENCIA	LONG. DE ONDA	DENOMINACIÓN
IR	300-800 GHz	1-0,4mm	Región Submilimétrica
V	800 GHz-400 THz	0,4 mm-40,8 mm	Infrarrojo
UV	400-750 THz	0,8-0,4 micras	Visible
	750-10000THz	400-12 nanómetros	Ultravioleta
		120-06 amstrong	Rayos X

Tabla 3 Denominación de las bandas a frecuencias superiores⁶

1.2 PRESENTACIÓN FRACTAL

El diseño de antenas mediante la aplicación de geometrías fractales a su estructura ha sido objeto de investigación y de numerosos estudios, tesinas y proyectos militares en estos últimos años.

El desarrollo de las nuevas tecnologías de la comunicación requiere dispositivos portables capaces de integrar varios servicios de comunicación como telefonía móvil y conexión a redes inalámbricas o sistemas de guiado por satélite. Estos dispositivos tienden a ser pequeños y por tanto, la búsqueda de soluciones que

⁵ FUENTE: CARDAMA Angel, Antenas, UPC Edicions, Barcelona, 2002, pag 16

⁶ FUENTE: CARDAMA Angel, Antenas, UPC Edicions, Barcelona, 2002, pag 16

optimicen las dimensiones de las antenas así como su capacidad para trabajar en diversas bandas de frecuencia ha propiciado el desarrollo de la ingeniería en el campo de la geometría fractal.

Formas muy similares a los fractales están presentes en la naturaleza desde hace miles de años y es fascinante descubrir cómo una vez más, el mundo natural que nos rodea ofrece una buena solución a un problema tecnológico.⁷



Figura 2 Ejemplos de geometrías fractales que se encuentran en la naturaleza⁸

1.2.1 Definición de Fractal

Un fractal es una forma semi geométrica fragmentada o irregular cuya estructura básica se repite a diferentes escalas.⁹ Mediante los fractales se pueden describir muchos objetos del mundo real como las nubes, las montañas, las turbulencias, las costas, incluso las galaxias y un largo etcétera de cuerpos cuyas formas no son geoméricamente simples.

Tras la búsqueda bibliográfica y de información que ha propiciado este proyecto, resulta curioso advertir que a pesar de la existencia de multitud de estructuras matemáticas reconocidas como fractales y vinculadas a los nombres de los matemáticos que se han citado en el anterior apartado, como por ejemplo el triángulo de Sierpinski, el conjunto de Cantor, la curva de Koch y la curva de

⁷ FUENTE: http://www.youtube.com/watch?v=uas_HJNAzfw

⁸ FUENTE: http://www.youtube.com/watch?v=uas_HJNAzfw

⁹ FUENTE: B.B. Mandelbrot, "The fractal geometry of Nature", New York: W.H. Freeman, 1983.

Hilbert, no existe una definición matemática precisa y aceptada por la totalidad de la comunidad científica.



Figura 3 Ejemplos de geometrías fractales básicas. De izquierda a derecha: el conjunto Cantor, la curva de Koch y el triángulo de Sierpinski.¹⁰

Ejemplos de geometrías fractales básicas. De izquierda a derecha: el conjunto Cantor, la curva de Koch y el triángulo de Sierpinski.

Todas estas características hacen que este tipo de antena sea especialmente interesante para una gran variedad de aplicaciones inalámbricas. La antena fractal basada en el triángulo de Sierpinski presenta propiedades multibanda a causa de la autosimilaridad, es decir las múltiples escalas de esta geometría resuenan a diferentes bandas de frecuencias.

1.2.2 Geometría Fractal



Figura 4 En la naturaleza también aparece geometría Fractal¹¹

¹⁰ **FUENTE:** B.B. Mandelbrot, “ The fractal geometry of Nature”, New York: W.H. Freeman, 1983.

La geometría fractal es conocida como la “forma de la naturaleza” ya que por sus irregularidades y patrones intrincados emula muy acertadamente las figuras de los más diversos paisajes y estructuras que serían imposibles de describir por medio de la geometría euclídea.

A pesar de estos desarrollos, el término “fractal” fue introducido apenas en la década de los sesentas (1960) por el francés Benoit Mandelbrot, quien gracias al uso de la computadora pudo ir más allá que sus predecesores, buscando aplicaciones para los fractales en la simulación de sistemas físicos complejos, además de estructurar la teoría matemática subyacente y definir el conjunto de propiedades de las formas fractales.

Por medio de fractales, diversos investigadores, han modelado exitosamente sistemas físicos complicados como la dinámica de fluidos y las turbulencias.

A partir de la década de los ochenta (1980) se empezaron a buscar otras aplicaciones para los fractales, en temas tan variados como el modelamiento de órganos y partes del cuerpo humano en medicina, modelamiento de terrenos para la ingeniería civil, modelamiento de paisajes y compresión de imágenes en computación gráfica, e incluso en el campo musical, donde se ha experimentado con secuencias melódicas generadas por fractales. Por su parte, las telecomunicaciones se han beneficiado con los estudios de tráfico estadísticamente autosimilar y el objeto de estudio que nos ocupa: las antenas fractales.

1.2.3 Clasificación de los Fractales

Existen diferentes formas de clasificar los fractales de acuerdo a las propiedades que los describen. A continuación se presentan dos de las clasificaciones más populares.

¹¹ **FUENTE:** <http://www.fractus.com/>

- De acuerdo a la propiedad de autosimilitud, los fractales pueden ser divididos en tres amplias categorías, que son:¹²

1.2.3.1 Autosimilitud Exacta:

Este es el tipo más restrictivo de autosimilitud: exige que el fractal parezca idéntico a diferentes escalas. Estos tienen una regla de punto fijo geométrico. A menudo la encontramos en fractales definidos por sistemas de funciones iteradas (IFS). Ejemplos: conjunto de Cantor, triángulo de Sierpinski, curva de Peano, copo de nieve de Koch, curva del dragón, esponja de Menger, etc.

1.2.3.2 Cuasiautosimilitud:

Exige que el fractal parezca aproximadamente idéntico a diferentes escalas. Los fractales de este tipo contienen copias menores y distorsionadas de sí mismos. Matemáticamente D.Sullivan definió el concepto de conjunto cuasiauto-similar a partir del concepto de cuasi-isometría. Los fractales definidos por relaciones de recurrencia son normalmente de este tipo. Como ejemplo tenemos: el conjunto de Mandelbrot, conjunto de Julia, y el fractal de Lyapunov, etc.

1.2.3.3 Autosimilitud estadística:

Es el tipo más débil de autosimilitud, se exige que el fractal tenga medidas numéricas o estadísticas que se preserven con el cambio de escala. Los fractales aleatorios son ejemplos de fractales de este tipo. Así tenemos, el movimiento browniano, el vuelo de Lévy, los paisajes fractales o los árboles brownianos.

- De acuerdo a la linealidad, se describen dos tipos de fractales:

1.2.3.4 Fractales Lineales¹³

Los fractales lineales son aquellos que se construyen con un cambio en la variación de sus escalas. Esto implica algo muy importante, los fractales lineales

¹² **FUENTE:** <http://www.wikipedia.org/>

¹³ **FUENTE:** Michael F. Barneslye, Robert L. Devaney, The Science of Fractal Images Springer-Verlang New York Inc 1988

son exactamente idénticos en todas sus escalas hasta el infinito. Es decir si vemos una parte específica muy pequeña de una forma fractal la veremos igual o similar a la forma original del fractal, solamente que más pequeña.

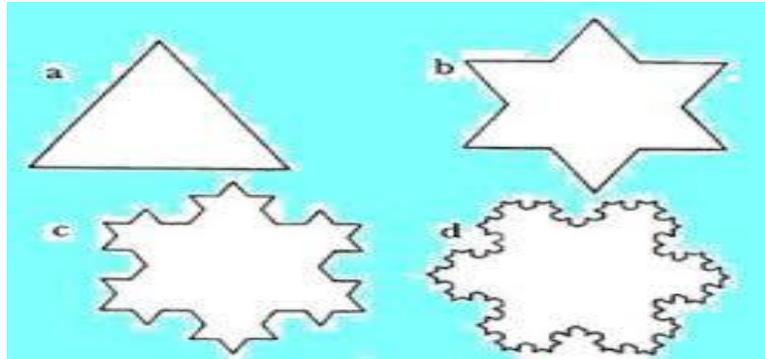


Figura 5 Fractales lineales (Creados a través de Fractint)¹⁴

1.2.3.5 Fractales no lineales

Los fractales no lineales se generan creando distorsiones no lineales o complejas. Es decir son fractales que presentan una estructura similar, pero no son exactamente igual a su original. Si vemos de cerca una parte específica de un fractal se parecerá al original pero tendrá unas pequeñas variaciones.

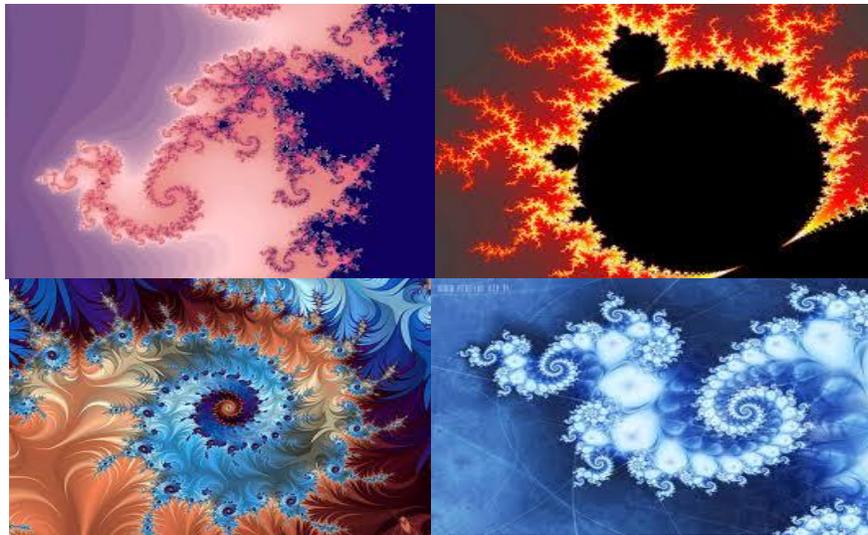


Figura 6 Fractales no lineales (Creados a través de Fractint)¹⁵

¹⁴**FUENTE:** Michael F. Barneslye, Robert L. Devaney, The Science of Fractal Images Springer-Verlang New York Inc 1988

1.2.4 Propiedades de los Fractales¹⁶

Con respecto a cualquier otra figura geométrica, un fractal puede ser fácilmente diferenciado por tres características que todos ellos cumplen y que resultan simples de verificar.

- Su dimensión no es un número entero.
- Cuentan con una estructura infinita.
- Son autosemejantes.

A continuación analizaremos cada una de ellas.

1.2.4.1 Su dimensión no es un número entero¹⁷

Se piensa que la dimensión de una figura geométrica es igual al número de ejes coordenados necesarios para contener su gráfica, pero esto no se cumple para los fractales en donde la dimensión corresponde a un número fraccionario, cualidad que les da su nombre.

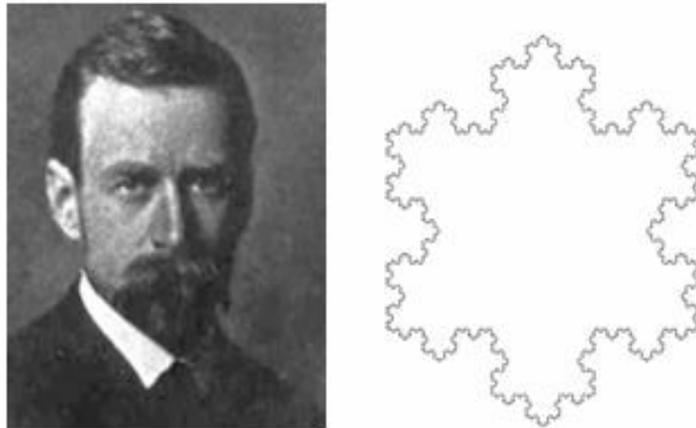


Figura 7 N. Koch y la curva de Koch conocida como el Copo de Nieve¹⁸

¹⁵ **FUENTE:** Michael F. Barneslye, Robert L. Devaney, The Science of Fractal Images Springer-Verlang New York Inc 1988

¹⁶ **FUENTE:** Alligood. K. T, Sauer T. D, Yorke. J. A, “Chaos, an introduction to dynamical systems”, Springer, 1997.

¹⁷ **FUENTE:** Alligood. K. T, Sauer T. D, Yorke. J. A, “Chaos, an introduction to dynamical systems”, Springer, 1997.

1.2.4.2 Estructura infinita

A diferencia de las figuras ordinarias, donde al acercarse al objeto original unas cuantas veces se pierde la forma y no se muestra ninguna información, los fractales son figuras infinitamente fraccionadas, lo cual implica que a cualquier escala que se examinen se puede identificar una estructura o patrón definido, aun si el acercamiento es infinito.

Esta estructura infinita tiene como consecuencia la imposibilidad de definir la derivada sobre este tipo de curvas, sin importar el punto donde se quiera tomar.

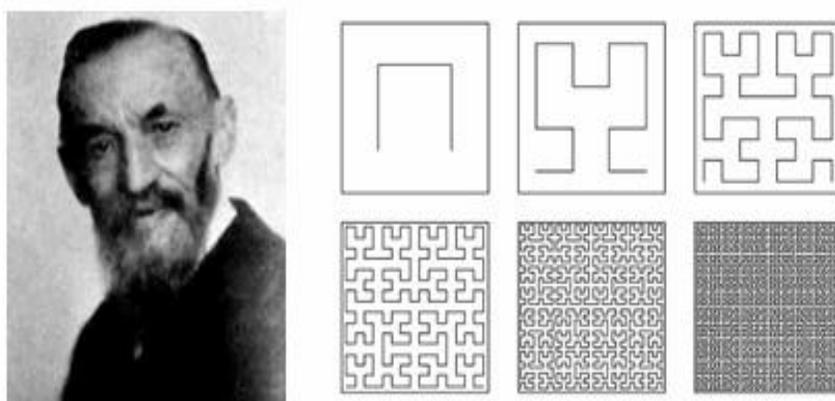


Figura 8 Autosimilitud en la carpeta de Sierpinski¹⁹

1.2.4.3 Autosimilitud o autosemejanza

Si se observa de cerca una región determinada de cualquier fractal, se verá una réplica o una imagen bastante similar al fractal original. Un ejemplo de esta propiedad puede apreciarse en la carpeta de Sierpinski, figura 9, para esta geometría las áreas encerradas contienen una réplica exacta del fractal original.

Es importante notar que en fractales más complejos la autosemejanza no es solo de forma sino que está definida por las propiedades topológicas y estadísticas de dichos conjuntos.

¹⁸**FUENTE:** Trabajos de Investigación Matemática, Fractales: La representación gráfica del caos, Disponible en: <http://centros5.pntic.mec.es/sierrami/dematesna/demates23/opciones/investigacion/fractales/fractales.htm>

¹⁹**FUENTE:** Trabajos de Investigación Matemática, Fractales: La representación gráfica del caos, isponible en : <http://centros5.pntic.mec.es/sierrami/dematesna/demates23/opciones/investigacion/fractales/fractales.htm>

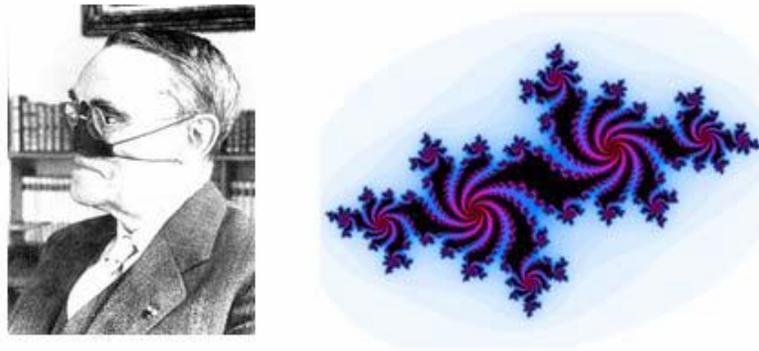


Figura 9 Autosimilitud en el conjunto de Julia²⁰

1.3 TRIÁNGULO DE SIERPINSKI

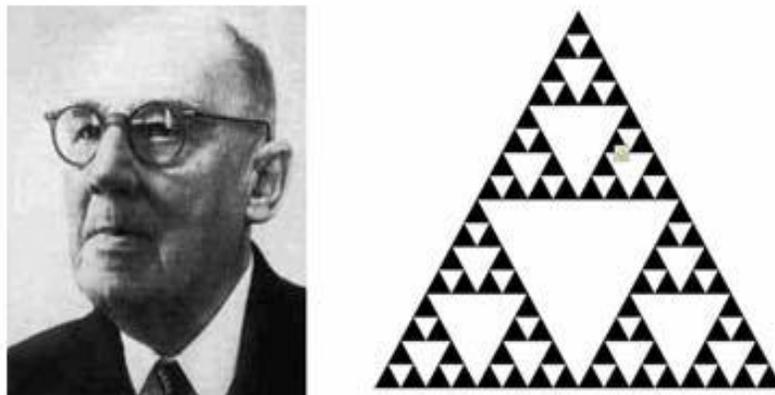


Figura 10 W. Sierpinski y el triángulo de Sierpinski

El triángulo de Sierpinski fue desarrollado a principios del siglo pasado por el matemático polaco Waclaw Sierpinski, quien además realizó grandes aportes en teoría de conjuntos, teoría de números y topología.

1.3.1 Área de la Placa

²¹Empezamos con un cuadrado del cálculo que nos proporcione una base sobre el cual vamos a construir nuestra antena.²² Por simplicidad y simetría, la figura geométrica es un cuadrado (figura 11). El cuadrado es una especie de contenedor

²⁰ **FUENTE:**YANGO, *Fractales, una nueva geometría*, Disponible en : [http://usuarios.lycos.es/sisar/fractales/Fractales%20una%20nueva%20geometria%20\(web\).pdf](http://usuarios.lycos.es/sisar/fractales/Fractales%20una%20nueva%20geometria%20(web).pdf)

²¹ **FUENTE:** José Vinicio Olivarez Yachimba

²² Gonzalez, V. A. & Guerrero, A. (2001). *Fractales: Fundamentos y Aplicaciones. Parte I: Concepción geométrica en la ciencia y la ingeniería* en <inge-nierias.uanl.mx/10/pdf/10_Virgilio_Gonzalez_Fundamentos_y.pdf>

de la antena y se utiliza para tener un valor de longitud de la placa en relación con la antena fractal que se incrustará.

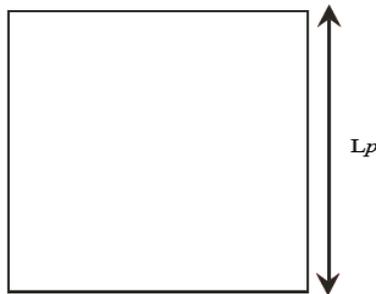


Figura 11 Área de la placa²³

En el punto donde se intersectan las mediatrices de dos lados contiguos se obtiene el punto céntrico del cuadrado y se procede a dibujar una circunferencia de radio r y un triángulo equilátero inscrito (figura 12).

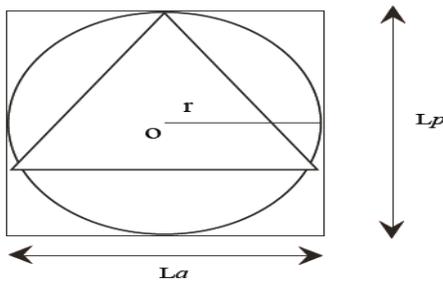


Figura 12 Triángulo de Sierpinski con sus lados

A este triángulo se le denomina triángulo base o triángulo inicial y tiene un lado. Siendo O el centro y R el radio de la circunferencia respectivamente, la longitud de r tiene un máximo de R y su valor queda a juicio del diseñador máxime si es deseable dejar un espacio entre el marco de la placa y los vértices de los ángulo del triángulo base. Asimismo, es importante determinar si se requiere espacio para el conector de la antena para que este no ejerza interferencia en la radiación de la misma.

²³ **FUENTE:** Balanis, C. A. (2005). *Antenna Theory: analysis and design*. 3ª Ed. New Jersey: Wiley.

1.3.2 Iteración

- **Paso Inicial (0):** Construimos un triángulo equilátero de lado a :

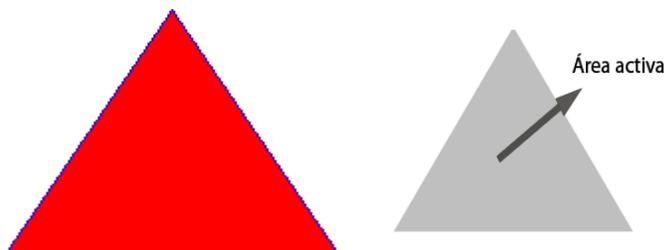


Figura 13 Interacción 0²⁴

- **Paso 1:** Uno los puntos medios de los lados y resulta la siguiente figura: Tres triángulos equiláteros sombreados y un hueco que es otro triángulo equilátero.

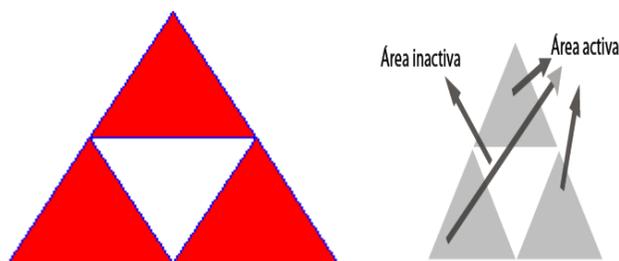


Figura 14 Interacción 1

- **Paso 2:** Repetimos el proceso en cada uno de los triángulos sombreados y obtengo la siguiente figura:

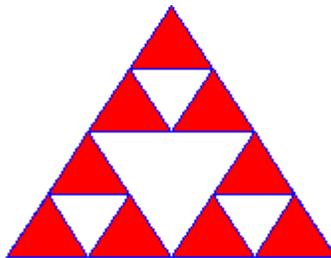


Figura 15 Interacción 2

²⁴ FUENTE: IES Profesor Máximo Trueba 2008/2009

- **Paso 3:** Repetimos lo mismo en cada uno de los triángulos equiláteros sombreados obteniendo la figura siguiente:

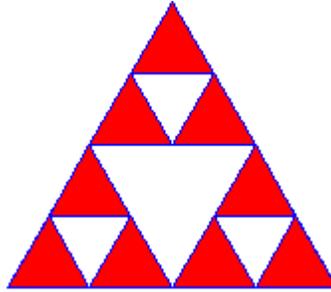


Figura 16 Interacción n

Y así.....

Se observa que en cada paso el triángulo de Sierpinski se obtiene con tres figuras del paso anterior, siendo cada una de ellas semejante a la del paso anterior y con razón de semejanza de 1/2.

Se distingue que en cada paso el triángulo de Sierpinski está formado por tres copias auto-semejantes del paso anterior.

Un objeto de estas características auto-semejante en distintas escalas se llama fractal, así pues, el triángulo de Sierpinski es un ejemplo de un fractal

Conforme se indicó a mayor altura del triángulo corresponde a la frecuencia de resonancia menor, y su menor altura recae para la frecuencia de resonancia superior.²⁵

1.3.3 Antenas simples basadas en Geometrías Fractales

Se clasifica de esta forma a cualquier antena individual cuya geometría esté basada en un fractal. Cabe resaltar que es imposible construir un verdadero fractal y en un sentido riguroso se debe hablar de antenas prefractales de “n” iteraciones.

²⁵ FUENTE: IES Profesor Máximo Trueba 2008/2009

Diversos autores han estudiado las clásicas configuraciones de dipolo, monopolo y bucle con implementaciones en alambre, impresas y microstrip; obteniendo como principales resultados la reducción de tamaño, el incremento de la impedancia de entrada y comportamientos multibanda.

Para el análisis de este tipo de antenas se emplean técnicas numéricas y experimentales, ya que resulta muy complicado resolver analíticamente las ecuaciones resultantes sobre un contorno fractal y sería impráctico realizar este procedimiento sobre la curva resultante en cada iteración de una figura pre-fractal.

1.3.4 Fractales para minimizar el tamaño de las Antenas

La dimensión fractal implica que una figura puede tener una longitud infinita en un área igual a cero, o que puede tener una longitud igual a cero y estar conformada por una cantidad infinita de puntos. Así mismo, las propiedades de llenado de espacio de algunas curvas permiten abarcar todo el plano con una línea continua.

Cuando se usan figuras prefractales como antenas, estas propiedades pueden traer una ventaja en comparación con las geometrías ordinarias contenidas en espacios clásicos, permitiendo mayores longitudes de onda en menores tamaños físicos.

El principal resultado alcanzado por esta clase de antenas es la miniaturización con respecto a una antena tradicional operando a la misma frecuencia. A continuación se muestran dos tipos de antenas fractales que mejoran el tamaño, los dipolos y los bucles fractales.

1.3.5 Fractales para obtener antenas multibanda

Es necesario diferenciar entre antenas multibanda y antenas independientes de la frecuencia. Las primeras son antenas con múltiples adaptaciones separadas en frecuencia, con características de radiación similares en cada una de estas bandas; las segundas son antenas que presentan gran ancho de banda (en teoría infinito) dentro del cual sus parámetros de radiación no varían significativamente.

Numerosas geometrías se consideran “independientes de la frecuencia”, entre las más destacadas están las espirales (planares y cónicas) y las logoperiódicas; ambas pueden ser consideradas como un fractal continuo.

Es importante anotar que en algunos casos se consiguen múltiples frecuencias agrupando varias antenas unifrecuenciales, o por medio de la incorporación de elementos reactivos en las antenas, forzando la aparición de nuevas frecuencias de operación.

1.3.6 Antenas Fractales Multibanda

La autosemejanza de los fractales ha sido aprovechada para diseñar antenas que operan en diferentes frecuencias, empleando las diferentes escalas contenidas en la geometría para crear múltiples antenas efectivas. Esto se entiende, considerando que para ciertas longitudes de onda sólo se excitará una porción de la geometría que actuará como radiador independiente.

1.4 LAS ANTENAS Y LA FRECUENCIA

Toda onda se caracteriza por su frecuencia f y su longitud de onda λ , ambas relacionadas por la velocidad de propagación en el medio, que habitualmente en antenas tiene la propiedad del vacío $C=3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

$$\lambda = c/f \quad (1)$$

Las antenas tienen unas características de impedancia y de radiación que dependen de la frecuencia, y que se analizan en el dominio frecuencial mediante las ecuaciones de Maxwell que usa expresiones de los campos en forma compleja o fasorial. Cada aplicación y banda de frecuencias presentan características peculiares que dan origen a diversas tipologías de antenas.

La frecuencia de trabajo f_0 de una antena se define como la frecuencia para la que se ha calculado esa antena y en la que sus propiedades cumplen unas especificaciones de diseño determinadas.

Según el comportamiento de las antenas respecto a su frecuencia de trabajo hablamos de:

- Antenas de banda estrecha: cubren un rango de frecuencias muy pequeño alrededor de su frecuencia de trabajo.
- Antenas de banda ancha: el rango cubierto alrededor de la frecuencia de trabajo es grande, del orden de una o dos octavas.
- Antenas independientes de la frecuencia: mantienen sus parámetros dentro de un rango de variación pequeño, a lo largo de varias décadas en el espectro radioeléctrico

1.4.1 SISTEMA DE COORDENADAS ESFÉRICO

El sistema de coordenadas que se utiliza habitualmente para representar las propiedades de radiación de las antenas es el esférico. En este sistema de coordenadas se definen los vectores unitarios \hat{r} , $\hat{\theta}$, $\hat{\phi}$ que forman una base ortogonal. La orientación de los vectores se determina mediante la intersección de una esfera de radio r , un cono de ángulo θ y un semiplano que pasa por el eje z .

La onda electromagnética radiada se compone de un campo eléctrico $E(V/m)$ y uno magnético $H(A/m)$, ambos son magnitudes vectoriales y están ligados por las ecuaciones de Maxwell

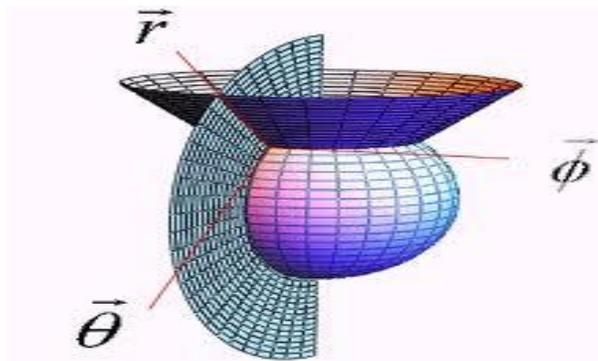


Figura 17 Diagrama en tres dimensiones²⁶

²⁶ FUENTE: A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch i M. Ferrando, “Antennas”, 2a ed., Barcelona: Edicions UPC, 2002.

1.5 PARÁMETROS DE UNA ANTENA

1.5.1 Impedancia

Se define como la relación tensión-corriente en un punto de la antena. En particular, es interesante conocer la impedancia de entrada, que se corresponde al valor de esa relación en el punto en que la antena se conecta a la línea de transmisión.

Dado que la antena debe cumplir el principio de máxima potencia, esto es, radiar el 100% de la energía que se le entrega, su impedancia de entrada (Z_{in}) y la impedancia característica de la línea de transmisión deben ser equivalentes. Cuando esto ocurre, se dice que la antena está adaptada.

En notación fasorial de Régimen permanente sinusoidal:

$$Z_{in} = \frac{V_{in}}{i_{in}} = R_{in} + jX_{in} [\Omega] \quad (2)$$

Se observa que existe una parte real R_{in} , denominada resistencia y otra imaginaria X_{in} , la reactancia, ambas dependientes de la frecuencia.

En caso de que no exista dicha reactancia, diremos que la antena es resonante a esa frecuencia.

1.5.2 Eficiencia de radiación

Se define como la relación entre la potencia radiada y la entregada, o de forma equivalente, la relación entre la resistencia de entrada ideal y la que presenta realmente.

$$\eta = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_{radiada}}{R_{radiada} + R_{\eta}} \quad (3)$$

Hay que destacar que el valor del rendimiento de la antena en transmisión es idéntico que al que tenemos en recepción.

1.5.3 Resistencia de radiación

Se define como el valor de resistencia que disiparía la misma potencia que la radiada por la antena.

$$R_r = \frac{P_{radiada}}{I^2} \quad (4)$$

Puesto que los conductores que forman la estructura de la antena no son ideales, aparecerán determinadas pérdidas que se traducen en un porcentaje de la potencia entregada que no es radiado al espacio. Estas pérdidas en los conductores pueden agruparse en un factor resistivo, entonces:

$$R_{in} = R_{rad} + R_{\Omega} \quad (5)$$

$$P_{entregada} = P_{radiada} + P_{perdida} = I^2 * R_r + I^2 * R_{\Omega} \quad (6)$$

Donde:

I= Corriente

R_r= Resistencia de radiación

R= Resistencia

1.5.4 Densidad de potencia

A partir de los valores eficaces de los campos eléctrico y magnético en un punto del espacio, se obtiene la densidad de flujo por unidad de superficie, o vector de Pointing:

$$\vec{\rho}(\theta, \phi) = \text{Re}(\vec{E} \times \vec{H}) \left[W / m^2 \right] \quad (7)$$

Donde:

Re= Resistencia de entrada

E= Campo eléctrico

H= Campo magnético

W= Wattios

m= metros

La densidad de potencia se puede calcular a partir de las componentes transversales del campo eléctrico:

$$\rho(\theta, \phi) = \frac{|E_{\theta}|^2 + |E_{\phi}|^2}{\eta} \quad (8)$$

La potencia total radiada se puede obtener como la integral de la densidad de potencia en una superficie esférica que encierre a la antena:

$$P_r = \iint_S \rho(\theta, \phi) d\vec{S} \quad (9)$$

Donde:

P_r = Potencia total radiada

ρ = Densidad de potencia

θ = Teta

ϕ = Fi

1.5.6 ANCHO DE BANDA

El intervalo de frecuencias, en el que un parámetro de una antena determinada no sobrepasa unos límites prefijados, se conoce como el ancho de banda de la antena (BW) y se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central

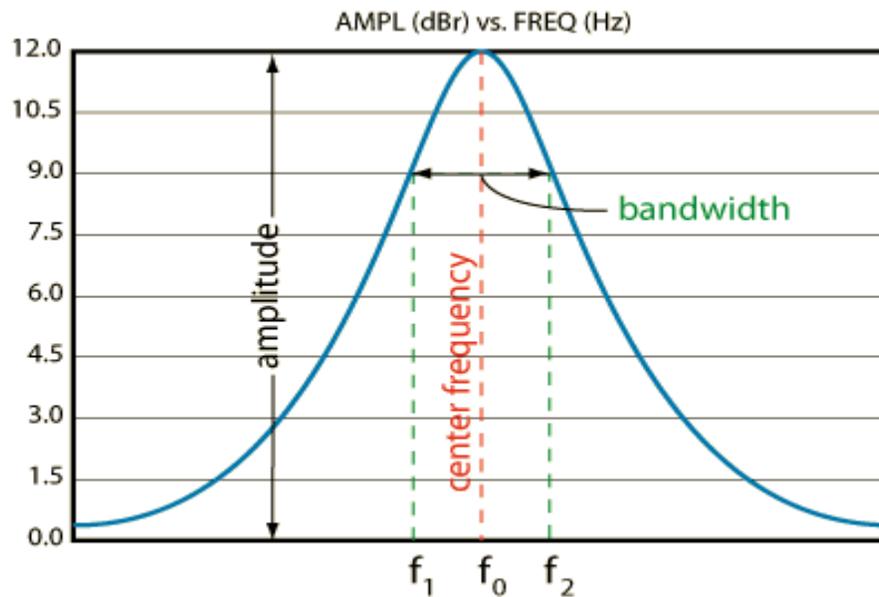


Figura 18 Ancho de banda y sus frecuencias, inicial central y final²⁷

El hecho de que una antena esté diseñada para una determinada frecuencia central, o frecuencia de resonancia, no quiere decir que no sea capaz de transmitir o recibir señales de otras frecuencias.

Cualquier antena presenta un ancho de banda, que es el rango de frecuencias en las que esa antena es capaz de funcionar con una eficiencia aceptable.

Para determinar el ancho de banda de una antena, o lo bien que se comporta para una frecuencia determinada, existen distintos parámetros. El más sencillo de comprender es el parámetro de reflexión, que mide la cantidad de energía reflejada por la antena. Si la antena está perfectamente adaptada al transmisor, “aprovechará” el 100% de la energía que le entrega el transmisor. Conforme esa adaptación empeore (por el propio diseño de la antena, o porque pretendemos transmitir una frecuencia que no es la de resonancia), la antena reflejará un porcentaje mayor de la energía entregada por el transmisor.

En la siguiente gráfica se muestra el parámetro de reflexión de una antena diseñada para resonar a 2400MHz.

²⁷ **FUENTE:** A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch i M. Ferrando, “Antennas”, 2a ed., Barcelona: Edicions UPC, 2002.

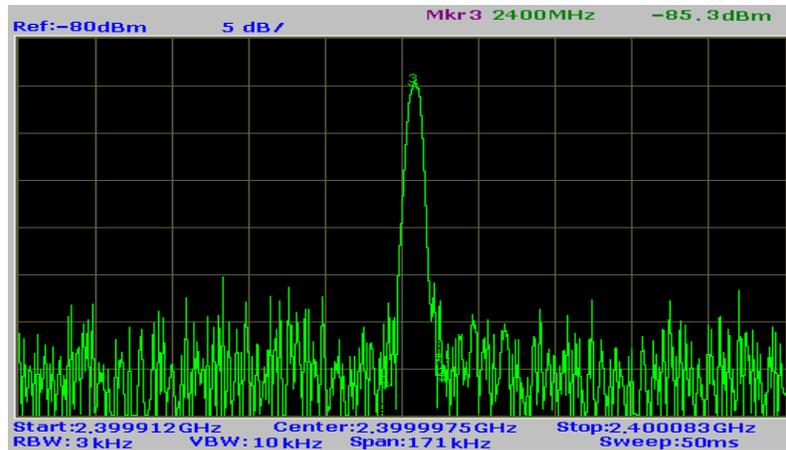


Figura 19 Parámetros de reflexión²⁸

Se observa que a 2400MHz el parámetro de reflexión es -85.3dBm de potencia.²⁹

El intervalo de frecuencias, en el que un parámetro de una antena determinada no sobrepasa unos límites prefijados, se conoce como el ancho de banda de la antena (BW) y se puede especificar como la relación entre el margen de frecuencias en que se cumplen las especificaciones y la frecuencia central

$$BW = \frac{f_{\max} - f_{\min}}{f_0} \cdot 100\% \quad (10)$$

Para antenas de banda ancha usamos la siguiente forma:

$$BW = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} : 1 \quad (11)$$

Donde:

BW= Ancho de banda

²⁸ **FUENTE:** José Vinicio Olivarez Yachimba

²⁹ **FUENTE:** A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch i M. Ferrando, “Antennas”, 2a ed., Barcelona: Edicions UPC, 2002.

f_{max} = Frecuencia máxima

f_{min} = Frecuencia mínima

1.5.7 Directividad y Ganancia

Los dos parámetros vienen dados por cuánto concentra una antena su radiación hacia una cierta dirección preferente. Es la razón entre esta antena y una antena isotrópica.

- La ganancia se relaciona con la potencia de alimentación.
- La directividad se relaciona con la potencia de radiación.
- Ambas difieren en un factor de eficiencia $G = \eta * D$.
- Se miden en dBi (dB) o dBd

La directividad de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección, a una distancia dada, y la densidad de potencia que radiaría a esa misma distancia una antena isotrópica que radiase la misma potencia que la antena.³⁰

Puesto que en el radiador isotrópico la potencia radiada es constante y su diagrama de radiación es esférico, obtendremos:

$$\rho_{isotrópica} = \frac{P_r}{4\pi r^2} \quad (12)$$

Donde:

g = Potencia isotrópica

P_r = Potencia radiada

r = Radio

Entonces, la directividad se expresa como:

³⁰ **FUENTE:** A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch i M. Ferrando, “Antennas”, 2a ed., Barcelona: Edicions UPC, 2002.

$$D(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{P_r / 4\pi r^2} \quad (13)$$

$D(\theta, \phi)$ = Directividad

Si no se especifica dirección, se entiende que se trata del valor de directividad en la dirección de máxima radiación. Este es el modo en que los fabricantes especifican el valor de directividad de sus antenas.

$$D = \frac{\rho_{\max}}{P_r / 4\pi r^2} \quad (14)$$

Donde:

D= Directividad

ρ_{\max} = Potencia máxima

P_r = Potencia radiada

r= Radio

Normalmente, conocido el diagrama de radiación podemos obtener la directividad tal como se ve en esta demostración:

$$D(\theta, \phi) = \frac{\rho(\theta, \phi)}{P_r / 4\pi r^2} \cdot \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\max}} = \frac{\rho_{\max}}{P_r / 4\pi r^2} \cdot \frac{\rho(\theta, \phi)}{\rho_{\max}} = D \cdot t(\theta, \phi) \quad (15)$$

$D(\theta, \phi)$ = Directividad

ρ_{\max} = Potencia máxima

P_r = Potencia radiada

r= Radio

También podemos expresar la directividad mediante la expresión que obtenemos tras la siguiente demostración:

$$D = \frac{\rho_{\max}}{P_r / 4\pi r^2} = \frac{\rho_{\max} \cdot 4\pi r^2}{P_r} \quad (16)$$

Considerando la definición de ángulo sólido:

$$S = R^2 d\Omega \quad (17)$$

Donde:

S= Anulo sólido

R= Radio

d= distancia

Entonces para una esfera, el ángulo sólido es:

$$4\pi R^2 = R^2 d\Omega_{\text{sf}} \rightarrow \Omega_{\text{sf}} = 4\pi \quad (18)$$

1.5.8 COEFICIENTE DE REFLEXIÓN (P)

Es la relación entre la onda Reflejada y la onda Incidente. El coeficiente de reflexión de la antena respecto a la línea de transmisión o generador es:

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (19)$$

Donde:

P= Coeficiente de reflexión

Zl= Impedancia de la carga

Zo= Impedancia característica

El coeficiente de reflexión está relacionado con la Pérdida de Retorno (Return Loss), una forma de medirlo es mediante la relación entre la potencia reflejada y la potencia transmitida.

$$R_L \text{ (dB)} = 20 \log_{10} \left| \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \right| = 20 \log_{10} |\rho|$$

(20)

Donde Z_0 es la impedancia característica de la línea y Z_L es la impedancia hacia la carga a una frecuencia dada.

1.5.9 VSWR – ROE (Relación de Ondas Estacionaria)

Como se sabe, el ancho de banda se refiere al rango de frecuencias en los que la antena radiará con efectividad. La relación entre la relación de onda estacionaria (ROE o VSWR en inglés) y el BW (ancho de banda) se muestran en la figura 20.

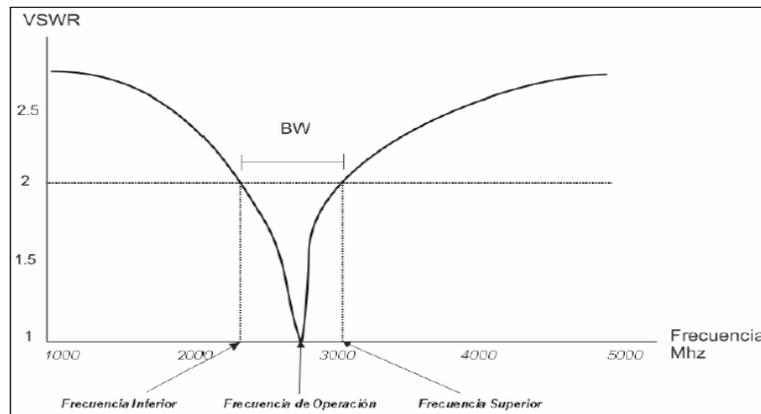


Figura 20 Relación de onda estacionaria y el ancho de banda³¹

Para determinar el ancho de banda de la gráfica de VSWR tenemos que el ancho de banda se toma del rango de frecuencia entre los cuales el VSWR sea menor que 2. De la figura 20 y de la ecuación sabemos que:

³¹ **FUENTE:** DEPARTAMENTO DE TCI, Líneas, Antenas y Propagación, Escuela de Especialidades Antonio Escaño

$$S = \frac{1 + |\rho v|}{1 - |\rho v|} \leq 2 \quad (21)$$

Donde ρv es el coeficiente de reflexión de voltaje, tal que $\rho v = \sqrt{\rho}$. Donde ρ es el coeficiente de reflexión de potencia. Conociendo esto y resolviendo la ecuación 21 obtenemos que el coeficiente de reflexión de potencia es:

$$\rho \leq \frac{1}{9} \quad (22)$$

Donde:

P= Coeficiente de reflexión

S= Anulo sólido

Y luego tomando logaritmos:

$$10 \log(\rho) \leq -9.54 \text{ dB} \approx -10 \text{ dB} \quad (23)$$

De la ecuación tenemos que:

$$\Delta P = P_r - P_i = 10 \log(\rho) \quad (24)$$

Y por tanto:

$$P_r - P_i \leq -9.54 \text{ dB} \quad (25)$$

P_r = Potencia radiada

Entonces de la ecuación 25 concluimos que para determinar el ancho de banda de un gráfico de potencia reflejada se debe medir entre los puntos donde la curva

corta los 9.54 dB (se aproxima a 10) por encima del punto de mayor acople. De acuerdo a la figura 20 el ancho de banda se expresaría de la siguiente forma³²:

$$VSWR \% BW = 10 dB \% BW = \frac{f_{hi} - f_{lo}}{f_r} \times 100\% \quad (26)$$

Dónde:

VSWR= Relación de onda estacionaria

fmin= Frecuencia inferior

fmax= Frecuencia superior

f_r= f_o= Frecuencia de Operación

1.5.10 PATRÓN DE RADIACIÓN

El diagrama de radiación es una representación gráfica de las propiedades de radiación de la antena, en función de las distintas direcciones del espacio y a una distancia determinada. Sitúa la antena en el origen de coordenadas y expresa el campo eléctrico en función de las variables angulares (θ,φ) en cada punto de la esfera de radio constante R. Como el campo magnético se deriva directamente del eléctrico, la representación podría realizarse a partir de cualquiera de los dos.

Los pasos son los siguientes:

Conocer el patrón:

Para este caso el campo generado por un dipolo largo es de la siguiente forma:

$$E = \frac{\cos\left(\beta \frac{l}{2} * \cos(\theta)\right) - \cos\left(\beta \frac{l}{2}\right)}{\sin(\theta)} \quad (27)$$

³² **FUENTE:** DEPARTAMENTO DE TCI, Líneas, Antenas y Propagación, Escuela de Especialidades Antonio Escaño

donde \mathbf{B} es la constante de fase es decir $2 \cdot \pi / \lambda$ y \mathbf{l} es la longitud del dipolo, y "theta" es el ángulo medido sobre el eje Z.

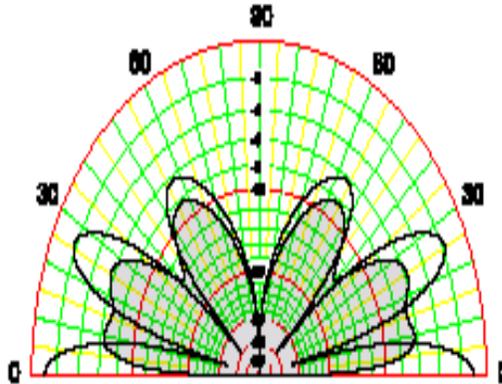


Figura 21 Patrón de radiación³³

Puede ser de interés, representar un corte del diagrama tridimensional. Los más habituales son los que coinciden con los planos principales y se pueden representar en coordenadas polares o cartesianas. La representación en coordenadas cartesianas permite observar los detalles en antenas muy directivas o con muchos nulos, mientras que el diagrama polar suministra una información más clara de la distribución de la potencia en las diferentes direcciones del espacio.

Es bastante habitual la representación del diagrama con la escala en decibelios. El máximo del diagrama de radiación es cero decibelios y en las restantes direcciones del espacio los valores en dB son negativos. Es importante tener en cuenta que los diagramas de campo y potencia son idénticos cuando la escala está en decibelios.

1.5.11 Lóbulo principal y secundario

En un diagrama de radiación típico se aprecia una zona en la que la radiación es máxima, a la que se denomina haz principal o lóbulo principal. Las zonas que

³³ FUENTE: <http://www.solred.com.ar/lu6etj/tecnicos/handbook/antenas/antenas.htm>

rodean a los máximos de menor amplitud se denominan lóbulos laterales y al lóbulo lateral de mayor amplitud se denomina lóbulo secundario.

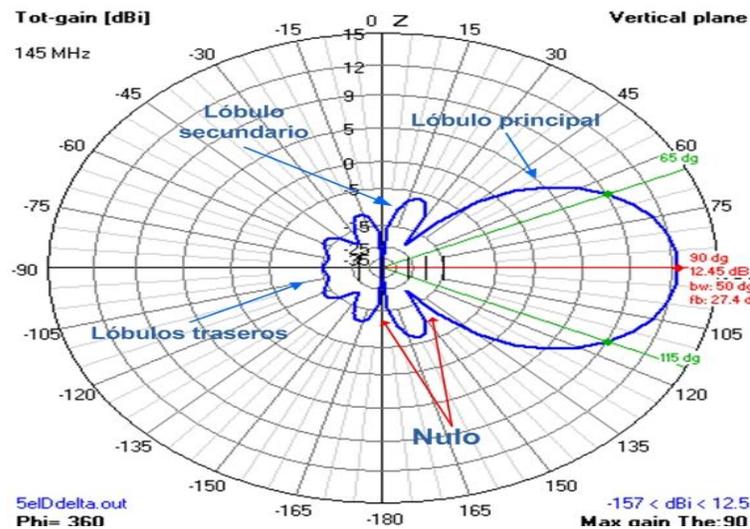


Figura 22 Lóbulo principal y secundario³⁴

- **Ancho de haz a -3 dB ($\Delta\theta$ -3dB)**

Es la separación angular de las direcciones en las que el diagrama de radiación de potencia toma el valor mitad del máximo.

- **Ancho de haz entre ceros ($\Delta\theta$ c)**

Es la separación angular de las direcciones del espacio en las que el lóbulo principal toma un valor mínimo.

1.5.11.1 Relación entre lóbulo principal y secundario (NLPS)

Se trata del cociente, expresado en dB, entre el valor del diagrama en la dirección de máxima radiación y en la dirección del máximo del lóbulo secundario.

Normalmente, dicha relación se refiere al lóbulo secundario de mayor amplitud, que suele ser adyacente al lóbulo principal.

- **Relación delante-atrás (D/A)**

³⁴ FUENTE: Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. Wayne Tomasi

La relación adelante-atrás (D/A) de una antena directiva es el cociente entre la directividad máxima a su directividad en sentido opuesto.

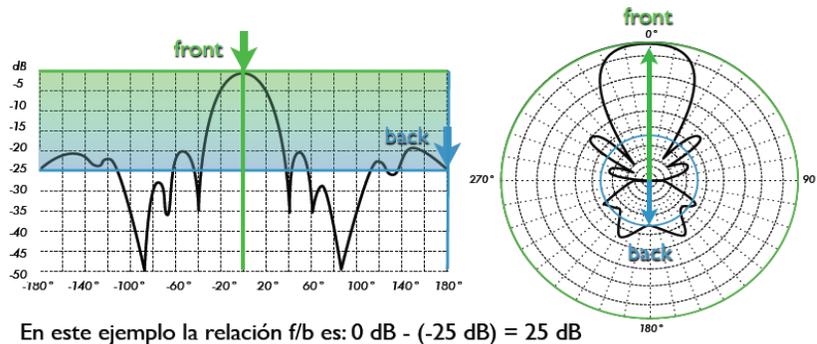


Figura 23 Relación delante- atrás (D/A) de antena directiva³⁵

- **El radiador Isotrópico**

Es una antena puntual, que no se puede realizar en la práctica y que radía de igual manera en todas las direcciones.

Si un diagrama de radiación presenta simetría de revolución en torno a un eje se dice que la antena es omnidireccional. Se denomina antena isótropa a una antena ideal que radie la misma intensidad de radiación en todas las direcciones del espacio. No existe ninguna antena así, pero la usaremos como herramienta matemática para definir los siguientes parámetros.

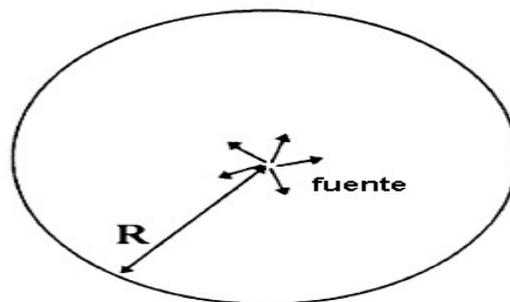


Figura 24 Diagramas de radiación isotrópico.³⁶

³⁵ FUENTE: <http://wndw.net/>

³⁶ FUENTE: A. Cardama, L. Jofre, J.M. Rius, J. Romeu, S. Blanch i M. Ferrando, “Antennas”, 2a ed., Barcelona: Edicions UPC, 2002.

1.6 POLARIZACIÓN

La polarización electromagnética es un fenómeno que puede producirse en las ondas electromagnéticas, como la luz, por el cual el campo eléctrico oscila sólo en un plano denominado plano de polarización. Este plano puede definirse por dos vectores, uno de ellos paralelo a la dirección de propagación de la onda y otro perpendicular a esa misma dirección el cual indica la dirección del campo eléctrico.

En una onda electromagnética no polarizada, al igual que en cualquier otro tipo de onda transversal sin polarizar, el campo eléctrico oscila en todas las direcciones normales a la dirección de propagación de la onda. Las ondas longitudinales, como las ondas sonoras, no pueden ser polarizadas porque su oscilación se produce en la misma dirección que su propagación.

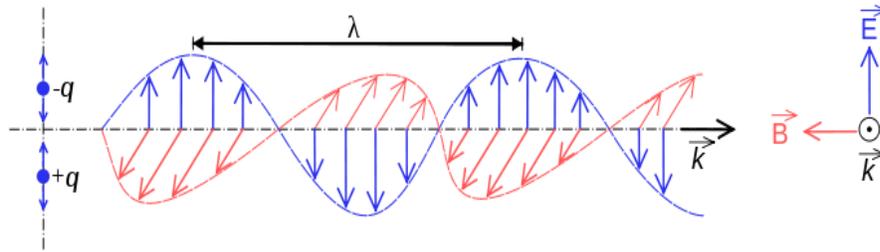


Figura 25 Polarización de una onda electromagnética³⁷

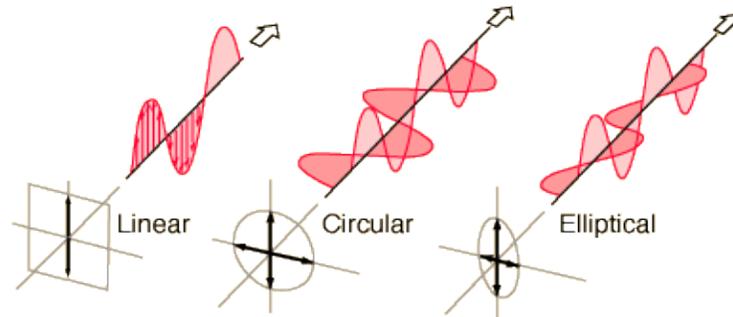
Una onda electromagnética polarizada. Las oscilaciones del campo eléctrico sólo se producen en el plano del tiempo, son perpendiculares a las oscilaciones del campo magnético, y ambas son perpendiculares a la dirección de propagación de la onda.

1.6.1 Tipos de polarización

- **Polarización lineal:** las variaciones del vector de campo eléctrico están contenidas en una única dirección. si la diferencia es 0 o un múltiplo entero (positivo o negativo) de π .

³⁷ FUENTE: <http://www.wikipedia.org/>

- **Polarización circular:** el vector de campo eléctrico describe una trayectoria circular. si la diferencia es un múltiplo entero impar (positivo o negativo) de $\pi/2$. En este caso se cumple, además, que $E_{0\parallel} = E_{0\perp}$.
- **Polarización elíptica:** el vector de campo eléctrico describe una trayectoria elíptica.



*Figura 26 Tipos de polarización*³⁸

1.7 TECNOLOGÍA Wi-Fi

Una de las tecnologías más extendidas de los últimos tiempos, y que con mayor ímpetu y velocidad va incorporándose a nuestra vida cotidiana sin duda alguna es la llamada Wi-Fi, la cual nos permite interconectar diferentes clases de dispositivos entre ellos sin necesidad de cables o que los mismos queden fijos en un lugar. En este artículo conoceremos un poco más de cerca este concepto para interiorizarnos de los que nos puede ofrecer.



*Figura 27 Representación de Conexión inalámbrica*³⁹

³⁸ FUENTE: www.wikipedia.org/pt/polarizaci3o/lineal/circular/eliptica

En la actualidad, es casi una obligación que los dispositivos nuevos que salen al mercado ofrezcan una conexión de este tipo, es por ello que podemos encontrar reproductores de Blu-Ray o DVD y equipos de entretenimiento doméstico tales como consolas, teléfonos inteligentes ,tablets o Smartphone, además de las computadoras portátiles o de escritorio y muchos otros.

La posibilidad que la conexión de tipo inalámbrica Wi-Fi les brinda a todos estos aparatos les otorga una flexibilidad sin límites para ser conectados, dando lugar a incluso otras tecnologías nacidas de este concepto, tales como los SmartTV.

Es increíble lo que una conexión a Internet o a otros dispositivos mediante Wi-Fi le puede añadir a un simple reproductor de medios, basta con ver algunos de los nuevos modelos salidos al mercado recientemente para darse cuenta de las posibilidades que nos ofrece.⁴⁰

Una red wireless o sin cables, usa ondas de radio, al igual que lo hacen los teléfonos móviles y otros elementos de comunicación similares. De hecho, la comunicación a través de una de estas redes es muy parecida a una comunicación de radio bidireccional. Lo que ocurre más o menos, es que un adaptador wireless del ordenador traduce los datos en señales de radio y los trasmite usando una antena. Por otro lado, un router wireless recibe la señal y la decodifica y envía la información a Internet usando una conexión física de cable.

El proceso trabaja también en el sentido inverso, donde el router recibe la información de Internet, transformándola en una señal de radio y enviándola al adaptador del ordenador. El tipo de radio utilizado en la comunicación Wi-Fi es similar al utilizado en los walkie-talkies, móviles y otros dispositivos. Pueden transmitir y recibir ondas de radio, y pueden convertir unos y ceros en este tipo de ondas y al revés. Sin embargo, la radio WIFI tiene unas notables diferencias con respecto a otras radios.

Pueden transmitir a frecuencias de 2.4 GHz o de 5 GHz. Esta frecuencia es considerablemente más alta que la frecuencia utilizada en los teléfonos móviles o algunos televisores. Esta diferencia de frecuencias permite a la señal transportar

³⁹ **FUENTE:** <http://www.informatica-hoy.com.ar/redes/Como-funciona-el-Wi-fi.php>

⁴⁰ **FUENTE:** <http://www.informatica-hoy.com.ar/redes/Como-funciona-el-Wi-fi.php>

más datos. Los estándares que utiliza están en la familia de protocolos 802.11, los cuales vienen en varios formatos:

1.7.1 Estándares WIFI

ESTÁNDAR	B/W	FRECUENCIA
802.11	2 Mb	2,4 GHz
802.11b	11 Mb	2,4 GHz
802.11g	54 Mb	2,4 GHz
802.11 a	54 Mb	5,4 GHz
802.11 n	300 Mb	1,4 GHz- 5,4 GHz

Tabla 4 Estándares WIFI con el ancho de banda y frecuencia⁴¹

- El protocolo 802.11a transmite a 5 GHz y puede mover hasta 54 megabits de datos por segundo. Utiliza también OFDM, el cual es una técnica de codificación más eficiente que parte la señal de radio en varias señales diferentes antes de que llegue al receptor. Esto reduce bastante las interferencias.
- El protocolo 802.11b es el estándar más lento y más barato de todos. Por algún tiempo, el coste que tenía lo hizo bastante popular, pero ahora se está volviendo menos común al ir reduciéndose el precio en protocolos más rápidos. El protocolo 802.11b transmite a 2.4 GHz y maneja hasta 11 megabits de datos por segundo, utilizando codificación CCK.
- El protocolo 802.11g transmite también a 2.4 GHz, pero es mucho más rápido. Puede manejar hasta 54 megabits de datos por segundo, y es más rápido porque usa la misma codificación OFDM que el protocolo 802.11a.
- El protocolo 802.11n es el más nuevo que actualmente está disponible. Este estándar mejora significativamente la velocidad y uso. Para poner un ejemplo, aunque 802.11g teóricamente mueve hasta 54 mbps, realmente solo mueve hasta 24 mbps debido a la congestión de red. Sin embargo, 802.11n puede alcanzar velocidades de hasta 140 mbps.

WIFI puede transmitir en cualquiera de estas tres bandas. También pueden saltar rápidamente entre las diferentes bandas. Los saltos de frecuencia ayuda a reducir

⁴¹ FUENTE: <http://www.electronica-basica.com/wifi.html>

interferencias y permite que múltiples dispositivos usar la misma conexión wireless simultáneamente. Los dispositivos utilizados para conectarse a Internet por WIFI, tienen algún tipo de adaptador wireless para hacerlo, y por tanto pueden usar un solo router para conectarse a Internet. Esta conexión es virtualmente invisible y suele ser bastante fiable. Sin embargo, los usuarios pueden experimentar interferencias o pérdidas de conexión.⁴²

1.7.2 Conexión o acceso a internet

La conexión se logra mediante un punto de acceso de la red inalámbrica, dicho punto de acceso tiene un alcance de unos 20 metros en interiores y al aire libre. Una distancia mayor, pueden cubrir grandes áreas la superposición de múltiples puntos de acceso.

- Mediante el cableado de la empresa proveedora del servicio de internet, llega a un adaptador inalámbrico.
- El adaptador inalámbrico del ordenador traduce los datos en una señal de radio y los transmite por medio de una antena.
- El router inalámbrico recibe la señal, la decodifica y envía la información a Internet a través de un enlace físico.

El proceso funciona también a la inversa: el router recibe la información de Internet, la traduce en una señal de radio y el adaptador inalámbrico del ordenador decodifica la señal recibida.

Para que los datos enviados y recibidos por los dispositivos de una red no se mezclen con los de otra se utiliza el SSID (Service Set Identifier) es un nombre incluido en todos los paquetes de datos enviados por los dispositivos de una red inalámbrica para identificarlos como parte de esa red. El código consiste en un máximo de 32 caracteres, la mayoría de las veces son alfanuméricos pero el estándar no lo especifica así que puede consistir de cualquier carácter. Todos los dispositivos inalámbricos que intenten comunicarse entre sí deben compartir el mismo SSID.

⁴² **FUENTE:** <http://www.electronica-basica.com/wifi.html>

Las redes inalámbricas transmiten en frecuencias de 2,4 GHz o 5 GHz. Estas frecuencias son considerablemente mayores a las utilizadas por los teléfonos móviles, walkie-talkies y televisores. A mayor frecuencia, es mayor la cantidad de datos que se pueden transmitir a los estándares de red 802.11:

802.11a transmite a 5GHz y puede transmitir hasta 54 megabits por segundo y 802.11b transmite a 2,4 GHz y puede transmitir hasta 11 megabits por segundo.

Normas (capa física y de acceso al medio)	Velocidad transmisión Máxima (Mbps)	Troughput máximo típico (Mbps)	Número máxima de redes colocalizadas	Banda de frecuencia	Radio de cobertura típico (interior)	Radio de cobertura típico (exterior)
IEEE 802.11 a/n	54 Mbps	22 Mbps	14(5,7 GHz)	5 GHz	85 m	185 m
IEEE 802.11b	11 Mbps	6 Mbps	3	2,4 GHz	50 m	140 m
IEEE 802.11g	54 Mbps	22 Mbps	3	2,4 GHz	65 m	150 m
IEEE 802.11n (40MHz)*	>300 Mbps	> 100 Mbps	1(2,4GHz) 7(5,7 GHz)	5 GHz	120m	300 m
IEEE 802.11n (20MHz)*	144 Mbps	74 Mbps	3(2,4GHz) 14(5,7 GHz)	2,4 GHz y 5 GHz	120m	300 m

Tabla 5 Estándares de RED 802.11⁴³

1.7.3 El estándar 802.11

Este tipo de estándar define dos modos

- El modo de infraestructura en el que los clientes de tecnología inalámbrica se conectan a un punto de acceso. Éste es por lo general el modo predeterminado para las tarjetas 802.11b.
- El modo ad-hoc en el que los clientes se conectan entre sí sin ningún punto de acceso Modo de infraestructura.

En el modo de infraestructura, cada estación informática (abreviado EST) se conecta a un punto de acceso a través de un enlace inalámbrico. La configuración formada por el punto de acceso y las estaciones ubicadas dentro del área de la cobertura se llama conjunto de servicio básico o BSS. Estos forman una célula. Cada BSS se identifica a través de un BSSID (identificador de BSS) que es un identificador de 6 bytes (48 bits). En el modo infraestructura el BSSID corresponde al punto de acceso de la dirección MAC

⁴³ FUENTE: <http://www.taringa.net/posts/ciencia-educacion/15988239/Como-Funciona-El-Wi-Fi.html>

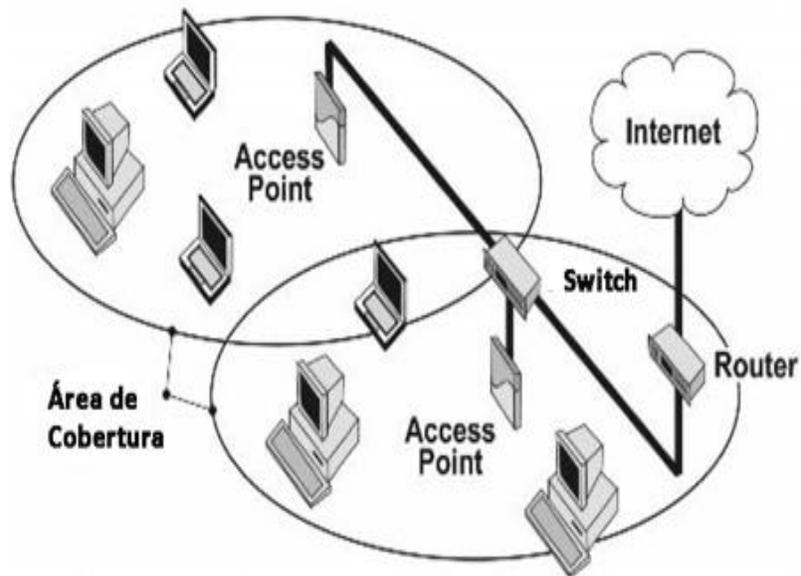


Figura 28 Modo de infraestructura⁴⁴

Es posible vincular varios puntos de acceso juntos (o con más exactitud, varios BSS) con una conexión llamada sistema de distribución (o SD) para formar un conjunto de servicio extendido o ESS. El sistema de distribución también puede ser una red conectada, un cable entre dos puntos de acceso o incluso una red inalámbrica.

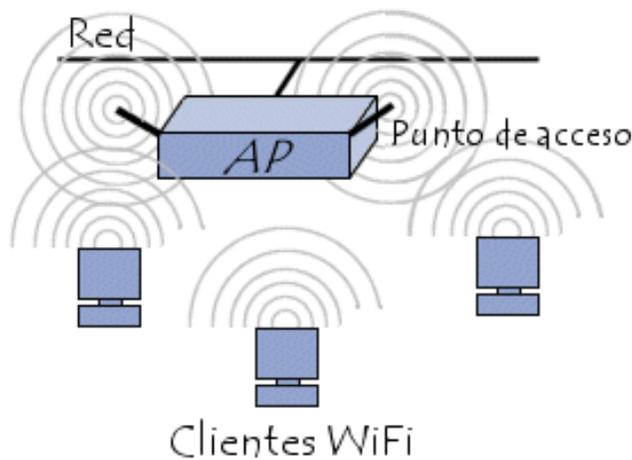


Figura 29 Modo ad-hoc⁴⁵

⁴⁴FUENTE: <http://www.monografias.com/trabajos90/modos-funcionamiento-redes-wifi/modos-funcionamiento-redes-wifi.shtml>

Un ESS se identifica a través de un ESSID (identificador del conjunto de servicio extendido), que es un identificador de 32 caracteres en formato ASCII que actúa como su nombre en la red. El ESSID, a menudo abreviado SSID, muestra el nombre de la red, de alguna manera representa una medida de seguridad de primer nivel ya que una estación debe saber el SSID para conectarse a la red extendida.

Cuando un usuario itinerante va desde un BSS a otro mientras se mueve dentro del ESS, el adaptador de la red inalámbrica de su equipo puede cambiarse de punto de acceso, según la calidad de la señal que reciba desde distintos puntos de acceso. Los puntos de acceso se comunican entre sí a través de un sistema de distribución con el fin de intercambiar información sobre las estaciones, si es necesario, para transmitir datos desde estaciones móviles. Esta característica que permite a las estaciones moverse "de forma transparente" de un punto de acceso al otro se denomina itinerancia.⁴⁶

1.8 BÚSQUEDA DE UNA RED WI-FI

Las redes Wi-Fi normalmente vienen en tres variedades:

- Redes Wi-Fi disponibles en el mercado
- Redes Wi-Fi municipales
- Redes Wi-Fi privadas

Una ubicación en la que se ofrece Wi-Fi se denomina zona activa. Cada zona activa incluye un punto de acceso. El punto de acceso es un enrutador con una conexión "con cable" a Internet, como Ethernet o DSL. La conexión a Internet generalmente se establece mediante un proveedor de servicios de Internet inalámbrico (WISP) o un ISP tradicional.

⁴⁵ **FUENTE:** <http://www.monografias.com/trabajos90/modos-funcionamiento-redes-wifi/modos-funcionamiento-redes-wifi.shtml>

⁴⁶ **FUENTE:** <http://www.monografias.com/trabajos90/modos-funcionamiento-redes-wifi/modos-funcionamiento-redes-wifi.shtml#ixzz2v79IPRMc>

1.8.1 Redes Wi-Fi comerciales

Muchos hoteles y cafeterías ofrecen conexión inalámbrica a Internet como un servicio a los clientes con equipos portátiles. Estas zonas activas comerciales tienen puntos de acceso en sus instalaciones. Los puntos de acceso son enrutadores con conexiones con cable a un WISP que presta servicio en estas ubicaciones comerciales. Los WISP típicos son los proveedores independientes y las compañías de telefonía celular.

1.8.2 Redes Wi-Fi municipales

Algunas ciudades del mundo han construido redes Wi-Fi municipales gratuitas, a las que los ciudadanos pueden acceder desde los sistemas de sus hogares. Las redes Wi-Fi municipales utilizan radiotransmisores en postes de teléfono u otros lugares exteriores para formar una “malla” en el área en la que presta servicio la red. Estos transmisores son los puntos de acceso a la red Wi-Fi municipal. Si en su área existe una red Wi-Fi municipal, es posible que su hogar esté incluido en la malla.

1.8.3 Redes Wi-Fi privadas

Como las redes Wi-Fi son relativamente fáciles de configurar, las empresas y universidades usan redes Wi-Fi privadas con acceso limitado a los empleados o los estudiantes. Para acceder a las redes Wi-Fi privadas generalmente es necesario proporcionar una clave al conectarse o ejecutar una VPN segura después de haberse conectado.⁴⁷

⁴⁷ **FUENTE:** http://docs.oracle.com/cd/E26921_01/html/E25833/gduew.html

CAPITULO II METODOLOGÍA

2. METODOLOGÍA

MÉTODOS Y TÉCNICAS

Para realizar este proyecto nos hemos basado en los siguientes métodos y técnicas:

- **Método Analítico.**

Este método se utiliza para poder entender la estructura de una antena fractal para WIFI, así como su funcionamiento al transmitir y recibir, imponiendo cada aplicación condiciones particulares sobre la direccionalidad de la antena, niveles de potencia que debe soportar, frecuencia de trabajo y otros.

- **Método Comparativo.**

Este tipo de método nos ayuda a realizar las diferentes comparaciones que se realiza al utilizar la antena diseñada y la antena comercial para recepción de Wi-Fi con sus respectivas mediciones.

- **Técnica de la Entrevistas.**

Se utiliza este tipo de técnica ya que se va a averiguar todo sobre la geometría fractal y diseño de antenas con profesores vinculados con este tipo de tecnología.

2.1 TIPO DE ESTUDIO

El presente estudio está orientado a la línea de investigación de telecomunicaciones para sistemas radiantes.

2.2 POBLACIÓN Y MUESTRA

La realización del diseño y construcción de la antena fractal para recepción Wi-Fi se realizará en la ciudad de Riobamba específicamente en la Universidad Nacional de Chimborazo.

2.3 OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

VARIABLES	CONCEPTO	CATEGORÍA	IDICADOR
Diseño y tamaño de la antena fractal.	Para el diseño y construcción de este tipo de antena nos basaremos en la geometría fractal.	La frecuencia es dependiente del tamaño de la antena	<ul style="list-style-type: none"> • Centímetros, milímetros.
Funcionamiento de la antena a frecuencia de operación de 2.4-2.5 GHz.	Debemos ubicar la frecuencia de operación de Wi-Fi y potencia.	Frecuencia y potencia	<ul style="list-style-type: none"> • MHz,GHz • dBm, Watts • Mbps

Tabla 6 Operacionalización de las variables⁴⁸

⁴⁸ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

CATEGORIAS	VARIABLES	INDICADORES	INDICES
Diseño y construcción de una antena fractal para banda ancha en la frecuencia de 2.4 – 2.5 GHz, pruebas de operación y análisis de resultados ⁴⁹	Diseño y tamaño de la antena fractal.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Del 90 al 100 % de funcionamiento se obtiene con un cable RG 58 con un acople de impedancias = 50 ohm, un tamaño de 10.82cm, Fo= 2.435 GHz y una velocidad de enlace de 135 Mbps ➤ Del 70 al 80 % de funcionamiento se obtiene con un cable RG 58 con un acople de impedancias = sin acople, un tamaño de 10.82cm, Fo= 2.435GHz con una velocidad de enlace de 80 Mbps ➤ Del 60% de funcionamiento se obtiene con un cable RG 58 con un acople de Impedancia= sin acople, un tamaño de 10.82cm, Fo= 2.435GHz y una velocidad de enlace de 30mbps 	<p>ALTO Acoplamiento de impedancias entre la guía onda y la antena a 50 Ohm para recepción Wi-fi. Tamaño en función de la frecuencia de operación de la antena.</p> <p>MEDIO Sin acoplamiento de impedancias entre la guía de onda y la antena a 50 Ohm para recepción Wi-fi. Tamaño en función de la frecuencia de operación de la antena fractal.</p> <p>BAJO Sin acople de impedancias y altura de 10.82cm.</p>

Tabla 7 Operacionalización de hipótesis⁴⁹

⁴⁹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

CATEGORIAS	VARIABLES	INDICADORES	INDICES
Diseño y construcción de una antena fractal para banda ancha en la frecuencia de 2.4 – 2.5 GHz, pruebas de operación y análisis de resultados”	Funcionamiento de la antena a la frecuencia de 2.4-2.5 GHz.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Del 90 al 100 % de la recepción de Wi-Fi se obtiene mediante la $F_o = 2.435$ GHz en el canal 8 con una potencia de -32.976 dBm a una velocidad de transmisión de 135mbps y un ancho de banda de $8.115 \cdot 10^{-3}$ MHz. ➤ Del 70 al 80 % de recepción de Wi-fi se obtiene mediante la $F_o = 2.435$ GHz en el canal 8 con una potencia de -45 dBm a una velocidad de transmisión de 80mbps y un ancho de banda de $8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz. ➤ El 0% de recepción se da cuando. $F_o \neq$ de 2.4- 2.5GHz 	<p>ALTO A frecuencias de operación de 2.435 GHz la potencia de emisión del dispositivo que emite la red Wi-Fi es uno de los factores que define cuán lejos puede llegar nuestra red Wi-Fi lo que nos indica mientras más cerca estamos del dispositivo nuestra potencia será mejor y una excelente recepción con nuestra antena fractal, además potencia de la conexión del Wi-fi se verá afectada por los agentes físicos que afectan la potencia de compartimiento de la conexión WI-Fi con otros dispositivos.</p> <p>MEDIO A frecuencias de operación de 2.435 GHz la potencia de emisión del dispositivo que emite la red Wi-Fi es uno de los factores que define cuán lejos puede llegar nuestra red Wi-Fi lo que nos indica a medida que nos alejamos del dispositivo nuestra potencia disminuirá su valor, además potencia de la conexión del Wi-Fi se verá afectada por los agentes físicos que afectan la potencia de compartimiento de la conexión WI-Fi con otros dispositivos.</p> <p>BAJO La frecuencia de operación diferente a 2-4.2.5 GHz,</p>

Tabla 8 Operacionalización de hipótesis⁵⁰

⁵⁰ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

2.4 PROCEDIMIENTOS

En esta parte se da a conocer todos los pasos que se sigue para poder alcanzar los objetivos planteados en nuestro trabajo de investigación y cumplir con las metas que se requieran para el correcto funcionamiento del diseño de nuestra antena fractal.⁵¹

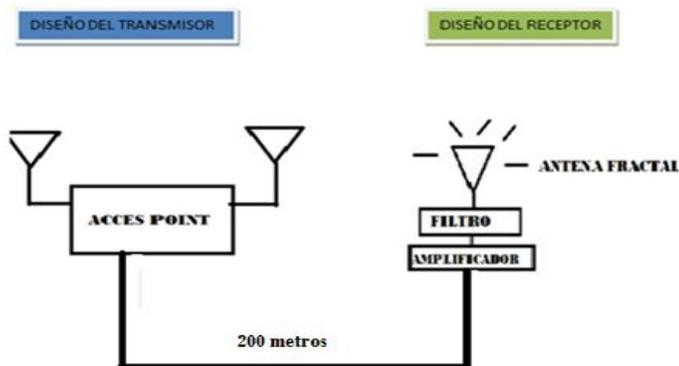


Figura 30 Diseño del transmisor y el receptor de la antena fractal⁵²

2.4.1 ADAPTADOR USB INALÁMBRICO DE ALTA POTENCIA DE 150 MBPS TL- WN7200ND



Figura 31 Amplificador de alta potencia⁵³

⁵¹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁵² FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁵³ FUENTE: <http://www.tp-link.com/mx/products/details/?model=TL-WN7200ND#down>

2.4.1.1 Prestaciones:

- De alta potencia y sensibilidad de recepción para llevar una transmisión de ultra-larga distancia
- Velocidad de transmisión de 150 Mbps para proporcionar un mejor rendimiento que los productos 11g.
- Encriptado fácil de la seguridad inalámbrica con sólo presione el botón de QSS.
- 1,5 metros de cable de extensión USB permite la implementación práctica.
- Compatible con Windows 2000 / XP / Vista / 7

2.4.1.2 Adaptador inalámbrico

TL-WN7200ND de TP-LINK es un adaptador de 150 Mbps inalámbrico de alta potencia que permite a los usuarios para permitir a sus PCs o portátiles con capacidad inalámbrica muy potente para ofrecer mejoras de rendimiento. El adaptador adopta un diseño de alta potencia con transmisión de potencia de salida de hasta 1000 MW, que ofrece hasta 8 veces la gama de adaptadores convencionales. Una de las mejores características del TL-WN7200ND es su penetrabilidad fuerte, que puede asegurar efectivamente que la señal no pierda la intensidad de la señal y se mantiene la fiabilidad cuando se pasa a través de varias paredes o pisos.

2.4.3 De alta Potencia para una fuerte penetrabilidad

Con el poder de transmisión de hasta 1000 MW, de alta potencia adaptador USB TL-WN7200ND ofrece hasta 8 veces el rango de potencia normal adaptador USB. Por otra parte, el TL-WN7200ND se presenta con su penetrabilidad increíble y fuerte, por lo que no tiene que estar físicamente atado a las paredes o pisos para acceder a Internet.

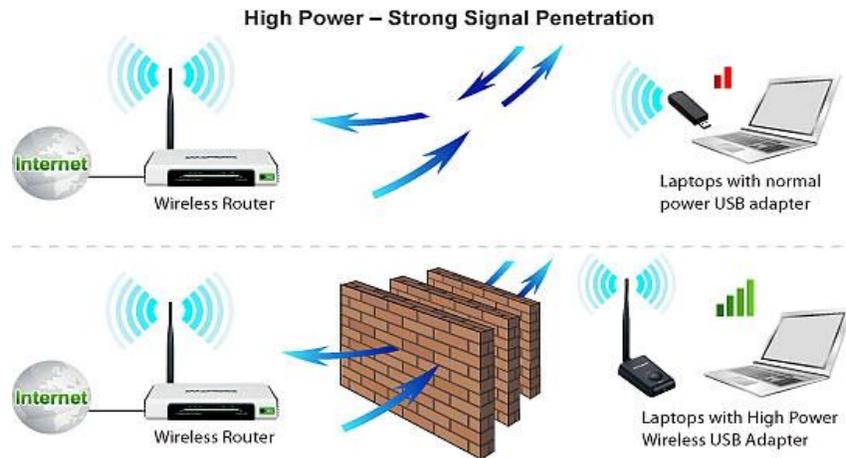


Figura 32 Amplificador de alta penetrabilidad⁵⁴

2.4.4 Alta sensibilidad de recepción de señal fiable

Las características del TL-WN7200ND de alta sensibilidad de recepción, pueden permitirle que se mueva más lejos del punto de acceso, manteniendo la misma señal inalámbrica. En este caso, con TL-WN7200ND significa que usted no tiene que mover el portátil como una varita mágica, y usted puede tomar fácilmente la red con su gran sensibilidad.

2.4.5 Antena externa desmontable de 5 DBI

La antena externa se puede girar y ajustar en direcciones diferentes para adaptarse a diferentes entornos funcionamiento, trae la mejora del rendimiento de la antena interna con un uso normal en interiores. Incluso para las aplicaciones más exigentes, la antena puede ser reemplazada con una antena de interior o de diversas antenas direccionales (estándar con conector RP-SMA) para mostrar una mayor flexibilidad y mayor cobertura inalámbrica.

2.4.6 Un botón de configuración de seguridad

Compatible con Wi-Fi Protected Setup™ (WPS), TL-WN7200ND Es compatible con configuración de seguridad rápida que permite a los usuarios presionar simplemente el "QSS" en el exterior, al instante de establecer una conexión de alta seguridad. No sólo es más rápido que las configuraciones normales de seguridad,

⁵⁴ **FUENTE:** <http://www.tp-link.com/mx/products/details/?model=TL-WN7200ND#down>

pero más conveniente en que no es necesario recordar ninguna contraseña! Compatible con Wi-Fi Protected Setup™ (WPS), TL-WN7200ND Es compatible con configuración de seguridad rápida que permite a los usuarios presionar simplemente el "QSS" en el exterior, al instante de establecer una conexión de alta seguridad. No sólo es más rápido que las configuraciones normales de seguridad, pero más conveniente en que no es necesario recordar ninguna contraseña.

2.4.7 Diseño estilo escritorio, y 1,5 cables de extensión Usb

Además de los exteriores de moda y la novedad, el diseño de escritorio de estilo es beneficioso para la recepción de la señal en entornos de aplicaciones diferentes, garantizando la señal suave y estable. Y TL-WN7200ND también proporciona cable de 1,5 m de extensión USB, ideal para su instalación, incluso para los equipos de escritorio.

2.4.8 CD incluido para un fácil manejo

TL-WN7200ND viene con un CD con la utilidad que le ayuda a completar la instalación del software y la configuración de red inalámbrica, incluyendo las configuraciones de seguridad y conexión inalámbrica, lo cual es conveniente para los usuarios, incluso para usuarios novatos.

2.4.9 Características

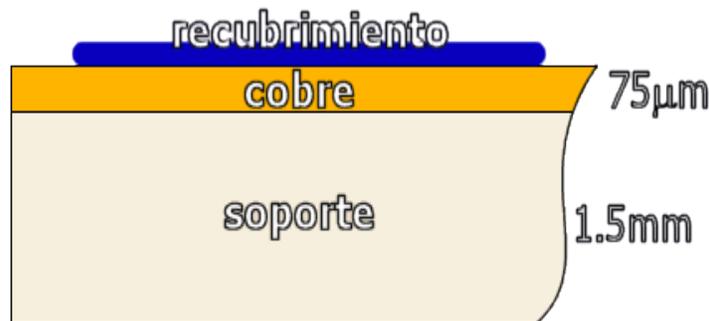
- Velocidad inalámbrica de datos 150 Mbps ideal para la transmisión de vídeo, juegos en línea y llamadas por Internet las tasas de
- De alta potencia y alta sensibilidad recibir ofrecer la mejora del rendimiento en comparación con potencia normal
- Señal sostiene útil y fiable, incluso a través de varias paredes o pisos.
- Fácil configuración de una conexión inalámbrica de alta seguridad en la pulsación de botón QSS.
- WPA/WPA2 encriptado efectivamente proteger su red de intrusiones externas.
- Es compatible con el modo AP suave para Windows XP / Vista, haciendo fácil el intercambio de la red local.

- Compatible con Sony PSP X-link para juegos en línea para Windows XP.
- CD integrado proporciona una fácil instalación y sin problemas y configuración.
- Compatible con todos IEEE 802.11b / g.
- Escritorio de diseño garantiza la señal estable a su red doméstica.
- Antena desmontable externa permite una mejor alineación y el más fuerte actualizaciones antena.⁵⁵

2.5 FIBRA DE VIDRIO

La placa de un circuito impreso es la base para el montaje del mismo, es el soporte que sujetará los componentes y a la vez los interconectará mediante una serie de pistas de cobre.

Una placa de circuito impreso está formada por un soporte, que puede ser de baquelita o de fibra de vidrio y una capa de cobre depositada sobre el soporte, tal como se observa aquí:



*Figura 33 Fibra de vidrio*⁵⁶

También se observa sobre la capa de cobre un recubrimiento que puede ser una capa de barniz fotosensible (placas sensibilizadas o fotosensibles) o bien la tinta del rotulador que utilizaremos para dibujar las pistas, tal como veremos más adelante.

⁵⁵ FUENTE: <http://www.tp-link.com/mx/products/details/?model=TL-WN7200ND#down>

⁵⁶ FUENTE: <http://www.planetaelectronico.com/cursillo/tema4/tema4.1.html>

Mediante el proceso de atacado de la placa, que veremos en detalle más adelante, transformaremos la capa uniforme de cobre en una serie de pistas de cobre que interconectarán los diferentes componentes entre sí, formando el circuito real.⁵⁷

2.6 LÍNEAS DE TRANSMISIÓN COAXIALES

Líneas de transmisión coaxiales

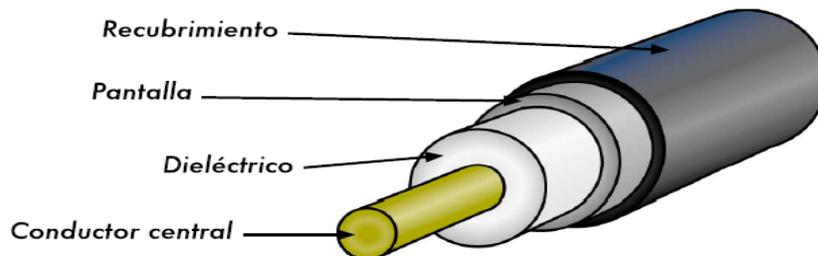


Figura 34 Cable Coaxial⁵⁸

2.6.1 Especificaciones físicas y básicas

El conductor de núcleo del cable coaxial CATV de banda ancha Belden 9116 RG6/U es una sola tira de cable de acero recubierto de cobre desnudo de 18 AWG, o 0,0403 pulgadas (0,10 cm) de diámetro. Éste queda encerrado en una capa de 0,170 pulgadas (0,43 cm) de aislamiento de espuma de plástico fluorado de etileno-propileno. El núcleo de alambre y el aislamiento están completamente rodeados por una capa cubierta con tres capas de lámina de aluminio/poliéster de cinta de papel de aluminio conocida como "Duofoil cubierto". El Duofoil está a su vez cubierto por una trenza de alambre de aluminio que proporciona 60 por ciento de cobertura de las capas subyacentes. La camisa exterior del cable está hecha de un aislamiento de cloruro de polivinilo de bajo humo de la marca "Flamarrest". El diámetro nominal (diámetro completo incluyendo todas las capas) de este cable es de 0,235 pulgadas (0,60 cm).⁵⁹

⁵⁷ FUENTE: <http://www.planetaelectronico.com/cursillo/tema4/tema4.1.html>

⁵⁸ FUENTE: <http://www.ocarc.ca/coax.htm>

⁵⁹ FUENTE: http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-cable-belden-6-catv-info_216107/

El núcleo de un cable coaxial transporta señales electrónicas que constituyen la información. Este núcleo puede ser sólido (normalmente de cobre) o de hilos. Rodeando al núcleo existe una capa aislante dieléctrica que la separa de la malla de hilo. La malla de hilo trenzada actúa como masa, y protege al núcleo del ruido eléctrico y de la distorsión que proviene de los hilos adyacentes. El núcleo y la malla deben estar separados uno del otro. Si llegaran a tocarse, se produciría un cortocircuito, y el ruido o las señales que se encuentren perdidas en la malla, atravesarían el hilo de cobre.

El apantallamiento tiene que ver con el trenzado o malla de metal (u otro material) que rodea los cables. El apantallamiento protege los datos que se transmiten, absorbiendo el ruido, de forma que no pasa por el cable y no existe distorsión de datos. Al cable que contiene una lámina aislante y una capa de apantallamiento de metal trenzado se le llama cable apantallado doble. Para grandes interferencias, existe el apantallamiento cuádruple. Este apantallamiento consiste en dos láminas aislantes, y dos capas de apantallamiento de metal trenzado.

Un cortocircuito ocurre cuando dos hilos o un hilo y una tierra se ponen en contacto. Este contacto causa un flujo directo de corriente (o datos) en un camino no deseado. En el caso de una instalación eléctrica común, un cortocircuito causará el chispazo y el fundido del fusible o del interruptor automático. Con dispositivos electrónicos que utilizan bajos voltajes, el efecto es menor, y casi no se detecta. Estos cortocircuitos de bajo voltaje causan un fallo en el dispositivo y lo normal es que se pierdan los datos que se estaban transfiriendo.

Una cubierta exterior no conductora (normalmente hecha de goma, teflón o plástico) rodea todo el cable, para evitar las posibles descargas eléctricas.

El cable coaxial es más resistente a interferencias y atenuación que el cable de par trenzado, por esto hubo un tiempo que fue el más usado.

La malla de hilos absorbe las señales electrónicas perdidas, de forma que no afecten a los datos que se envían a través del cable interno. Por esta razón, el cable coaxial es una buena opción para grandes distancias y para soportar de forma fiable grandes cantidades de datos con un sistema sencillo.

En los cables coaxiales los campos debidos a las corrientes que circulan por el interno y externo se anulan mutuamente.

2.6.2 Características

La característica principal de la familia RG-58 es el núcleo central de cobre.

Tipos:

- RG-58/U: Núcleo de cobre sólido.
- RG-58 A/U: Núcleo de hilos trenzados.
- RG-59: Transmisión en banda ancha(TV).
- RG-6: Mayor diámetro que el RG-59 y considerado para frecuencias más altas que este, pero también utilizado para transmisiones de banda ancha.
- RG-62: Redes ARCnet.

2.6.3 Estándares

La mayoría de los cables coaxiales tienen una impedancia característica de 50, 52, 75, o 93 Ω . La industria de RF usa nombres de tipo estándar para cables coaxiales. En las conexiones de televisión (por cable, satélite o antena), los cables RG-6 son los más comúnmente usados para el empleo en el hogar, y la mayoría de conexiones fuera de Europa es por conectores F.⁶⁰

Tipo	Impedancia [Ω]	Núcleo	dieléctrico			Diámetro		Trenzado	Velocidad
			tipo	[in]	[mm]	[in]	[mm]		
RG-6/U	75	1.0 mm	Sólido PE	0.185	4.7	0.332	8.4	doble	0.75
RG-6/UQ	75		Sólido PE			0.298	7.62		
RG-8/U	50	2.17 mm	Sólido PE	0.285	7.2	0.405	10.3		
RG-9/U	51		Sólido PE			0.420	10.7		
RG-11/U	75	1.63 mm	Sólido PE	0.285	7.2	0.412	10.5		0.66
RG-58	50	0.9 mm	Sólido PE	0.116	2.9	0.195	5.0	simple	0.66
RG-59	75	0.81 mm	Sólido PE	0.146	3.7	0.242	6.1	simple	0.66
RG-62/U	92		Sólido PE			0.242	6.1	simple	0.84
RG-62A	93		ASP			0.242	6.1	simple	
RG-174/U	50	0.48 mm	Sólido PE	0.100	2.5	0.100	2.55	simple	
RG-178/U	50	7x0.1 mm Ag pltd Cu clad Steel	PTFE	0.033	0.84	0.071	1.8	simple	0.69
RG-179/U	75	7x0.1 mm Ag pltd Cu	PTFE	0.063	1.6	0.098	2.5	simple	0.67
RG-213/U	50	7x0.0296 en Cu	Sólido PE	0.285	7.2	0.405	10.3	simple	0.66
RG-214/U	50	7x0.0296 en	PTFE	0.285	7.2	0.425	10.8	doble	0.66
RG-218	50	0.195 en Cu	Sólido PE	0.660 (0.680?)	16.76 (17.27?)	0.870	22	simple	0.66
RG-223	50	2.74mm	PE Foam	.285	7.24	.405	10.29	doble	
RG-316/U	50	7x0.0067 in	PTFE	0.060	1.5	0.102	2.6	simple	

Tabla 9 Tabla de RG⁶¹

⁶⁰ FUENTE: http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_coaxial

⁶¹ FUENTE: http://es.wikipedia.org/wiki/Cable_coaxial

2.6.4 Régimen de voltaje y especificaciones relacionadas

Este cable tiene una capacidad de carga de hasta 300 voltios RMS. Su impedancia es de 75 ohmios, y su inductancia se mide en 0,09 microhenrios por pie. La capacitancia del conductor para blindar es de 16,3 picofaradios. La resistencia nominal del conductor DC a 68 grados Fahrenheit (20 grados Celsius) es de 28,0 ohmios por 1000 pies (304,8 m) con resistencia de protección externa a la misma temperatura medida en 9 ohmios por 1000 pies (304,8 m). La velocidad nominal de propagación es de 83 por ciento de la velocidad de la luz y el retardo de transmisión nominal es de 1,24 milisegundos por cada pie (30,5 cm). La atenuación o debilitamiento de los rangos de transmisión alcanza a 0,3 dB por cada 100 pies (30,5 m) a la frecuencia de 1Mhz a 8,2 dB por cada 100 pies (30,5 m) a una frecuencia de 1000 Mhz. La pérdida de retorno estructural mínimo es de 20 dB cuando la frecuencia comienza desde 5 MHz y se detiene en 1000 MHz.⁶²

2.6.5 Impedancia

Todos los materiales se oponen al flujo de una corriente alterna en alguna medida. A esta oposición se le llama impedancia, y es análoga a la resistencia de los circuitos en corriente continua.

La mayoría de las antenas de telecomunicaciones tienen una impedancia de 50 ohmios, mientras que las antenas y los cables para TV normalmente tienen una impedancia de 75 ohmios.

Asegúrese de que la impedancia característica del cable entre el radio y la antena es de 50 ohmios. Cualquier desadaptación de impedancia causará reflexiones indeseables y pérdidas.

La impedancia se representa por la letra Z, y en general es una magnitud compleja formada por una resistencia R y una reactancia X.

La impedancia es el cociente entre el voltaje y la corriente en un elemento dado.

$$Z = V/I \text{ (28)}$$

Donde:

⁶² **FUENTE:** http://www.ehowenespanol.com/especificaciones-del-cable-belden-6-catv-info_216107/

V= Voltaje

I= Corriente

Las reflexiones de la señal en la línea de transmisión o guía de onda produce una onda estacionaria que se manifiesta por la presencia de picos y valles de la señal a lo largo de la línea. Las antenas para telecomunicaciones tienen una impedancia de 50 ohmios.

2.7 CONECTORES

Los conectores vienen en una gran variedad de formas y tamaños. Además de los modelos estándares, los conectores pueden tener polaridad inversa (géneros intercambiados) o roscas invertidas.



Figura 35 Tipos de Conectores⁶³

La Federal Commission of Communications (FCC) de los EEUU trata de evitar que el usuario final pueda cambiar la antena en los equipos de telecomunicaciones, para minimizar la posibilidad de interferencia con otros usuarios. Por esta razón, le exigen a los fabricantes que coloquen conectores no

⁶³ FUENTE: <http://www.ocarc.ca/coax.htm>

estandarizados en los radios que operan en las bandas libres. Este es el motivo de la proliferación de polaridades invertidas, roscas invertidas, etc. En los conectores. El otro motivo de la existencia de tantos conectores diferentes es el tamaño.

No se puede instalar un conector tipo N en una tarjeta PCCARD o mini- PCI. Se utilizan pigtails (latiguillo) para la transformación del conector N, estándar para las antenas, a un conector mucho más pequeño que se pueda instalar en el radio. El pigtail también sirve para aliviar el esfuerzo mecánico que un cable coaxial grueso impartiría en el radio.

2.8 ADAPTADORES Y PIGTAILS

Los adaptadores (transiciones) y pigtails se usan para interconectar diferentes clases de cables y dispositivos.



Figura 36 Tipos de adaptadores⁶⁴

Un pigtail es un cable flexible que se usa para reducir el esfuerzo mecánico que un cable rígido impondría en un conector pequeño como los que se usan en la mayoría de los radios. Hay muchas clases de adaptadores y pigtails. Se usan para efectuar la transición entre diferentes tipos de conectores con diferentes tamaños, tipo de rosca, género, etc.

⁶⁴ FUENTE: <http://www.ocarc.ca/coax.htm>

Pero en lugar de utilizar adaptadores, es mejor comprar cables de los comercializados ya con las terminaciones apropiadas para nuestro propósito. Esto ayuda a evitar un posible punto de falla y la atenuación introducida por el adaptador.⁶⁵

2.9 BENEFICIOS DE UNA ANTENA FRACTAL

Dentro de los beneficios que nos ofrece una antena fractal tiene propiedades geométricas que permiten que sea multifrecuencia o multibanda.

Toma en nombre de antena fractal por que la forma de esta antena es autosimilar y un objeto es autosimilar cuando está formado por copias de él mismo a una escala reducida en la mitad de la que está determinada.⁶⁶

Hay que acotar que el modelo de estas antenas es de matemáticas rigurosas, por lo que los diseñadores de antenas a veces optan por “tantear” la longitud de la misma hasta dar con lo deseado. Aunque por su puesto existen software que realizan estos diseños a partir de algunos parámetros conocidos.

2.10 DISEÑO DEL MONOPOLO SIERPINSKI

El primer ejemplo documentado de antenas fractales multibanda corresponde a una antena monopolo tipo triángulo de Sierpinski con dos iteraciones. La implementación de esta antena se realizó imprimiendo la geometría del radiador (10,82cm de altura) y lado de 12.45 cm sobre un sustrato dieléctrico ($\epsilon_r = 2,5$ y grosor 1,588mm) y empleando un plano de tierra de 10x10cm.

Observando la geometría, se espera una corriente fluyendo desde el vértice de alimentación hacia las puntas donde se radia la potencia. Se aprecia también que el factor de reducción entre una escala y la siguiente es dos, por lo que se puede esperar esta misma separación entre las bandas.⁶⁷

En la figura 37 Se puede apreciar que existen dos frecuencias resonantes de forma casi equiespaciada por un factor de dos entre ellas.

⁶⁵ **FUENTE:** <http://www.ocarc.ca/coax.htm>

⁶⁶ **FUENTE:** José Vinicio Olivarez Yachimba

⁶⁷ **FUENTE:** Balanis C. A, “Antenna Theory: Analysis and Design”, 3rd Ed, Wiley-Interscience, 2005.

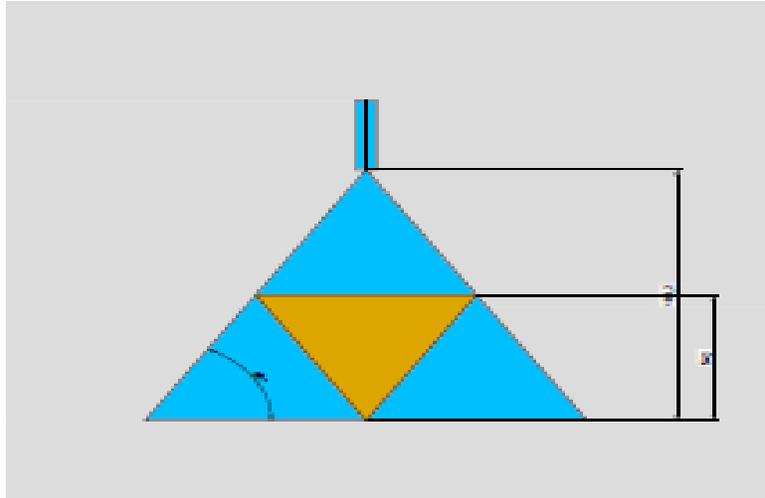


Figura 37 Diseño del Triángulo de Sierpinski⁶⁸

El diseño de una antena basada en el triángulo de Sierpinski, prácticamente se ve definida por dos parámetros: la altura de la antena (H_{max}) y el ángulo de apertura (Θ), siendo estas las variables con las cuales se puede interactuar al momento de establecer el diseño para una determinada aplicación.

La altura permite establecer las frecuencias de trabajo de la antena considerando la relación proporcional entre las alturas de los triángulos formados por las diferentes iteraciones. La altura máxima se ve definida por la frecuencia menor de operación y de igual forma la altura menor se corresponde con la frecuencia mayor de trabajo. Para determinar la altura máxima utilizamos la fórmula experimental definida en:

$$H_{max} = K \frac{C \cdot \delta^2 \cos 30}{F_n} \quad (29)$$

Donde:

F_n = frecuencia de resonancia del triángulo formado por la n-esima iteración.

C = velocidad de la luz (m/s).

H_{max} = altura superior de un lado del dipolo.

δ = periodo de operación

n = número de iteración

⁶⁸ **FUENTE:** Brown G. H. and Woodward O. M, “Experimentally determined radiation characteristics of conical and triangular antennas”, RCA Rev, vol 13, No 4, p 425, Dec 1952.

$K =$ constante igual a: 0,25

K es una constante, esta depende del tipo de sustrato dieléctrico y del espesor usado. Aquí el periodo de operación para un dipolo de Sierpinski se ve definido por la relación entre las diferentes frecuencias de operación, lo que se expresa como:

$$\delta = \frac{f_{n+1}}{f_n} \approx 2 \quad (30)$$

Donde:

$f_n =$ frecuencia de resonancia del triángulo formado por la n -ésima iteración

$f_{n+1} =$ frecuencia de resonancia del triángulo formado por la $n+1$ iteración

$\delta =$ período de operación

Y como ya se ha mencionado con anterioridad las alturas de los triángulos formados por las iteraciones se relacionan con las frecuencias de operación, por lo cual:

$$\delta = \frac{h_n}{h_{n+1}} \approx 2 \quad (31)$$

Mediante estas fórmulas se puede determinar el valor de las alturas correspondientes para el diseño.

Por otra parte, el ángulo de apertura permite modificar en ocasiones la impedancia de entrada de la antena y sobre todo se utiliza para obtener con mayor precisión las bandas de trabajo puesto que como es de suponerse al disminuir el ángulo de apertura, se trasladan las frecuencias de resonancia a valores menores, pero si dicho ángulo es muy estrecho, se pierde las características multibanda de la antena.

El ángulo de apertura (α) para nuestro caso será de 60° , ya que da una mejor simetría y mejores resultados ya que asegura que nuestro factor de operación se mantenga en dos.

2.10.1 Altura de la antena

⁶⁹La altura permite establecer las frecuencias de trabajo de la antena considerando la relación proporcional entre las alturas de los triángulos formados por las diferentes iteraciones. La altura máxima se ve definida por la frecuencia menor de operación y de igual forma la altura menor se corresponde con la frecuencia mayor de trabajo. Para determinar la altura máxima utilizamos la fórmula experimental definida en:

$$Hmax = K * \frac{C * \delta^2 * \cos 30}{Fn} \quad (32)$$

$$Hmax = 0.25 * \frac{3 * 10^8 * 2^2 \cos 30}{2.4 * 10^9}$$

$$Hmax = 10.82 \text{ cm}$$

Donde:

Hmax = Altura máxima

Fn = Frecuencia de resonancia

$$L = \frac{10.82}{\sin(60)} = 12.4938 \text{ cm}$$

2.10.2 Frecuencia de Resonancia

Las frecuencias de resonancia son relativas a las dimensiones que forma la estructura fractal, es decir cada altura relativa de los triángulos corresponde a su propia frecuencia de operación.

Cabe reiterar que el rango de frecuencias de operación, se determina por la altura que corresponde a la frecuencia de resonancia menor y por la altura menor corresponde a la frecuencia de resonancia mayor.

2.10.3 Cálculos del Triángulo de Sierpinski

Los pasos que se sigue para de la antena fractal fueron los siguientes:

- Partió de la superficie de un triángulo equilátero de lado unitario, a esto le da el nombre de iteración 0.

⁶⁹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

- Seguidamente tomo los puntos medios de cada lado y construyo a partir de ellos un triángulo equilátero invertido de lado $\frac{1}{2}$, a este se le da el nombre de iteración 1.

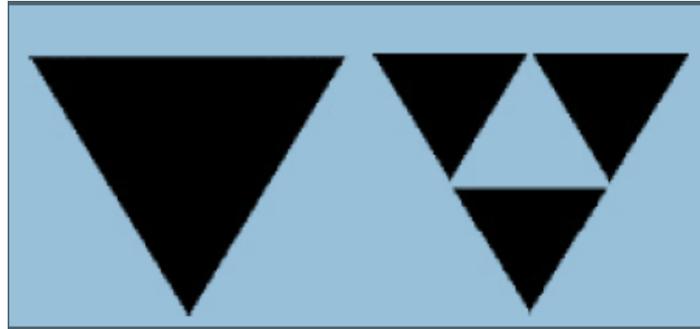


Figura 38 Triángulo de Sierpinski segunda iteración.⁷⁰

⁷¹Una vez determinadas dichas dimensiones se procede a simular el modelo de la antena mediante el programa de modelación de antenas MANNA, con el motivo de verificar y comprobar que efectivamente, tal modelo de antena opere en la frecuencia deseada. En ocasiones, es necesario dar un ligero ajuste, generalmente mediante la simulación, en las dimensiones de la antena, para asegurar su desempeño óptimo.

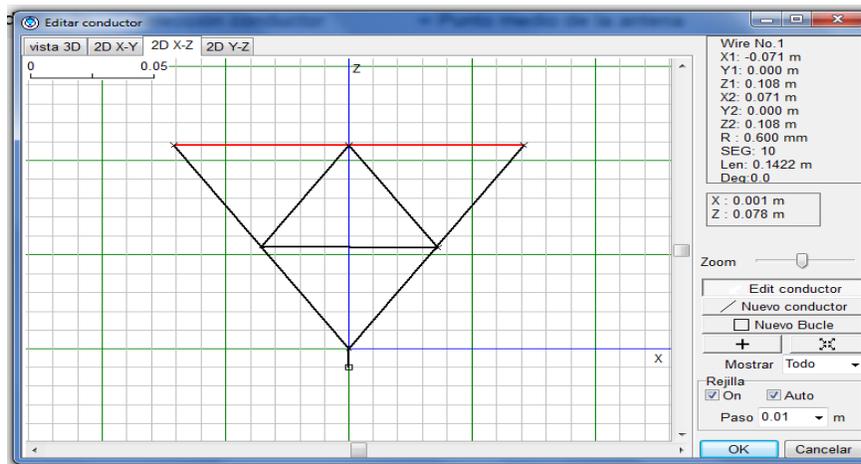


Figura 39 Diseño del Triángulo de Sierpinski en MANNA⁷²

⁷⁰ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁷¹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁷² FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

2.11 PARÁMETROS DEL MONOPOLO SIERPINSKI

Los parámetros y características que indican el comportamiento multibanda del monopolo Sierpinski se muestran a continuación.

2.11.1 Impedancia

Todos los materiales se oponen al flujo de una corriente alterna en alguna medida. A esta oposición se le llama impedancia, y es análoga a la resistencia de los circuitos en corriente continua.

La mayoría de las antenas de telecomunicaciones tienen una impedancia de 50 ohmios, mientras que las antenas y los cables para TV normalmente tienen una impedancia de 75 ohmios.

La impedancia se representa por la letra Z , y en general es una magnitud compleja formada por una resistencia R y una reactancia X .

La impedancia es el cociente entre el voltaje y la corriente en un elemento dado.

$$Z = \frac{V}{I} \quad (33)$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{1}{0.0125} = 80\Omega$$

2.11.2 Longitud de onda

⁷³Para calcular la longitud de onda de la antena se utiliza la siguiente fórmula.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (34)$$

$$\lambda = \frac{3 * 10^8}{2400Mhz}$$

$$\lambda = 0.125m$$

2.11.3 Ancho de banda

En amplificadores u otros circuitos, el ancho de banda se define como la banda de frecuencias comprendida entre los puntos de la curva de respuesta en frecuencia en que la amplitud de la señal de salida decae a 0.707 de su valor en la banda de

⁷³ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

paso o bien, en que la potencia de la señal se reduce a la mitad. Estos puntos se conocen como puntos de media potencia o de -3dB. En el caso de las antenas, el concepto de ancho de banda no se aplica estrictamente de acuerdo a la definición anterior y no tiene una definición única, ya que según la aplicación particular, en la definición pueden influir diversos factores tales como el cambio en la forma del diagrama de radiación, variación en las características de polarización, desacoplamiento de impedancias, aumento en el nivel de los lóbulos secundarios, reducción de la ganancia, etc.

En la práctica, la forma más común de medir el ancho de banda de una antena suele ser en términos de la relación de onda estacionaria (ROE), parámetro que permite definir la magnitud del desacoplamiento de impedancias y, por tanto, la eficiencia en la transferencia de potencia entre la línea de transmisión y la antena.

$$\tau_w = \frac{4 ROE}{(1+ROE)^2} \quad (35)$$

$$\tau_w = \frac{4 \cdot 2.17}{(1+2.17)^2}$$

$$\tau_w = 0.86$$

2.11.4 Coeficiente de reflexión

De acuerdo a esto, puede definirse también un coeficiente de reflexión de potencia como: reflexión

$$\rho_w = 1 - \tau_w \quad (36)$$

$$\rho_w = 1 - 0.86$$

$$\rho_w = 0.140$$

En aplicaciones profesionales, un criterio adecuado es que la ROE debe ser tal que la máxima potencia reflejada no exceda el 1% de la incidente en toda la banda de interés. Esto corresponde a un valor de ROE de 1.22, si bien es frecuente en muchos casos tener valores de ROE de 1.5 y aún hasta de 2.⁷⁴

⁷⁴ Jordan y K.G. Balmain, *Electromagnetic Waves and Radiating Systems*, 2nd Ed. Prentice Hall, Inc. 1968. C.A. Balanis. *Antenna Theory: Analysis and Design*, 2nd. Ed. John Wiley & Sons, Inc. 1982, J.D. Kraus. *Antennas*. 2nd Ed. McGraw-Hill, Inc. 1988.

2.11.5 Eficiencia de la antena

La eficiencia total de una antena se usa para tomar en cuenta la pérdida en las terminales de entrada y dentro de la estructura de la antena, dichas pérdidas se pueden deber a:

- Reflexión debido al desacoplamiento entre la línea de transmisión y la antena.
- Pérdidas $I^2 R$ (conducción y dieléctrico)

$$|\Gamma| = \rho_v = \frac{Z_{en} - Z_0}{Z_{en} + Z_0} = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0} \quad (37)$$

Donde:

Z_{en} = Impedancia de entrada de la antena

Z_0 = Impedancia característica.

$$T = \frac{75 - 50}{75 + 50}$$
$$T = 0.2$$

2.11.6 Eficiencia de radiación

Este concepto permite valorar el rendimiento de la antena en cuanto al flujo de potencias, es decir, nos da una idea sobre que parte es radiada al espacio y que parte se pierde, de la energía total que se entrega a la antena

$$\eta = \frac{P_{radiada}}{P_{entregada}} = \frac{R_{radiada}}{R_{radiada} + R_{\eta}} \quad (38)$$
$$\eta = \frac{84.5}{84.5 + 79.93} = 0.51$$

2.11.7 Directividad

La directividad se puede obtener en general a partir del diagrama de radiación de la antena.

$$A = 2 \cos^{-1} \left(\frac{1}{\sqrt{2}} \right) \quad (39)$$

Directividad aproximada.

$$D = \frac{4\pi}{A^2} \quad (40)$$

$$D = \frac{4\pi}{8100} = 0.088$$

2.11.8 Ganancia

La definición de directivita supone a la antena como sin pérdidas. En realidad las antenas se construyen con materiales que son conductores imperfectos, igual que los aisladores que se utilizan en ellas, por lo que una parte de la potencia suministrada a la antena se perderá en ésta, bien sea por calentamiento a causa de la resistencia de los conductores o por fugas en los dieléctricos, dando como resultado una reducción en la potencia neta y, por consecuencia, en la eficiencia de la antena.

$$G = D\eta \quad (41)$$

$$G = 0.88 * 0.51$$

$$G = 0.4488$$

2.11.8 Cálculo de acople

El objetivo principal en una adaptación de impedancias es forzar a la carga para que se vea como compleja conjugada de la fuente y así lograr la máxima transferencia de potencia hacia la carga. Como las reactancias son dependientes de las frecuencias, solo tendremos una perfecta adaptación a una frecuencia en particular, en la cual el termino de reactancia inductiva (jx) iguala en magnitud al termino de reactancia capacitiva (-jx) para su cancelación.

Otra forma de acoplar impedancias en una línea de transmisión es utilizando los llamados STUBS. Un STUB es una porción de línea de transmisión que termina en corto o en circuito abierto.

$$Z_L = 80,95 - j66,66$$

$$Z_0 = 50 \Omega$$

$$Z_L' = \frac{Z_L}{Z_0}$$

$$Z_L' = \frac{80,95 - j66,66}{50}$$

Pasando a coordenadas polares

$$ZL' = \frac{104,86 < -39,47}{50 < 0}$$

$$ZL' = 2,0972 < -39,47$$

Pasando a coordenadas rectangulares

$$ZL' = 1,61, -1.33j$$

$$jb = -0.48j - 0.3j$$

$$b = 0.78$$

$$X = -1.3$$

$$C = \frac{b}{2\pi * f * X * Z_0} \quad (42)$$

$$C = \frac{0.78}{2\pi * 2400 \text{ MHz} * 50}$$

$$C = 1.03 \text{ pf}$$

$$L = \frac{X * Z_0}{2\pi * f} \quad (43)$$

$$L = \frac{1.3 * 50}{2\pi * 2400 \text{ MHz}}$$

$$L = 4.31 \text{ nH}$$

⁷⁵A continuación se realiza el acople de impedancias, para lo cual utilizaremos una Carta Smit.

Para realizar el acople de la antena lo primero que se realiza es normalizar los datos de la impedancia y reactancia de nuestra antena y pasamos a coordenadas polares, una vez que se tiene estos valores se pasa a coordenadas rectangulares para ubicar en la carta Smith, el valor de la impedancia en el eje x y la reactancia en el eje y. Con este punto realizamos una circunferencia desde el centro de la carta con radio al punto del valor ubicado, con este punto trazamos una recta que pasa por la mitad de la carta Smith y en el punto donde corta la línea recta con el extremo de la circunferencia y ubicamos el punto de YI' con su valor, con este punto nos dirigimos en dirección de la carga y ubicamos el valor de YI''. Con este punto de la carta se traza una línea recta que pasa por el centro de la carta y ubicamos el punto con radio uno con eje y.

⁷⁵ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

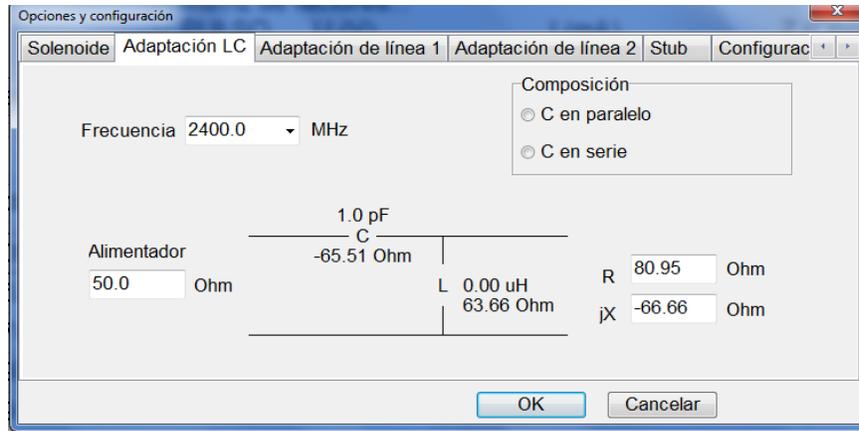


Figura 40 Circuito equivalente para el acople

En la figura 40 se indica cómo se realiza el acople de impedancias ya que la antena tiene un acople de 50 Ohm y el alimentador de 75 Ohm (RG6), para lo cual se necesita construir un acople de impedancias para lograr una máxima transferencia de potencia y no exista onda refleja,

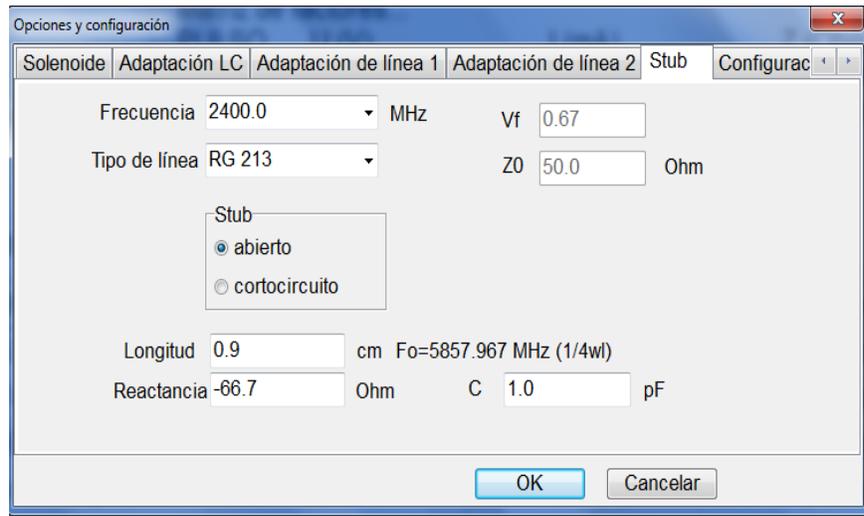


Figura 41 Circuito abierto con el primer stub en MMANA-GAL⁷⁶

Para la adaptación de impedancias se utiliza un circuito abierto en paralelo como se muestra en la figura 41.

⁷⁶ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

2.12 SIMULACION DE LA ANTENA EN SOFTWARE MMANA

Con este software se comprueba la frecuencia de operación y sus respectivos parámetros de la antena fractal.

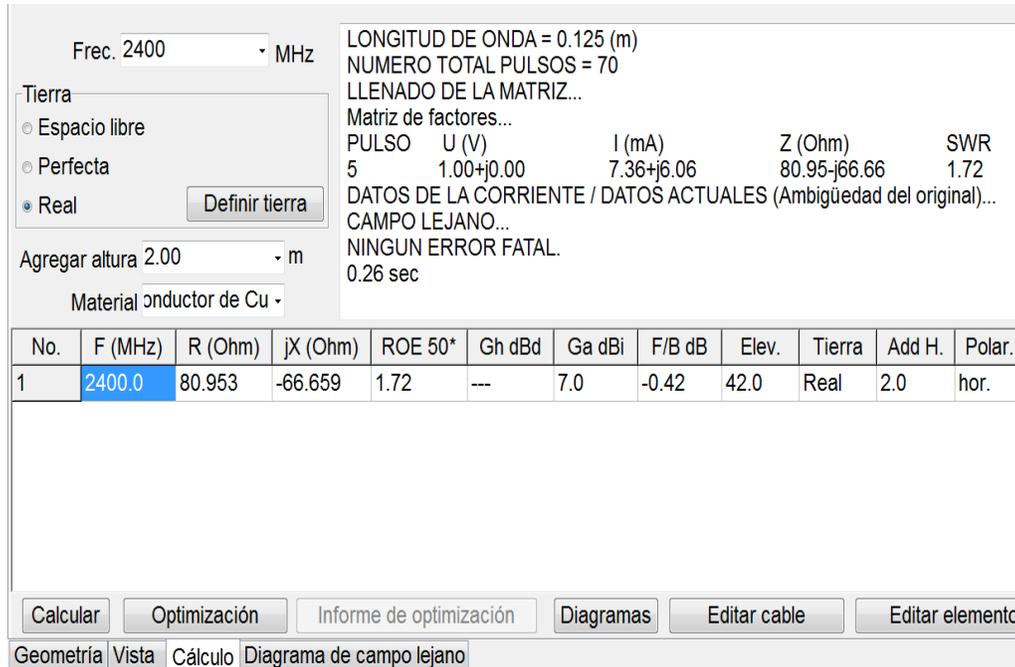


Figura 42 Simulación de la antena con sus respectivas medidas⁷⁷

En la figura 42 se muestra que mediante este software se permite simular distintos parámetros de la antena como son: potencia, onda refleja, impedancia de entrada, ganancia de la antena, resistencia de entrada, además de poner el tipo de material que vamos a utilizar con su respectiva permitividad ya que esto influye mucho en la frecuencia de operación de la antena.

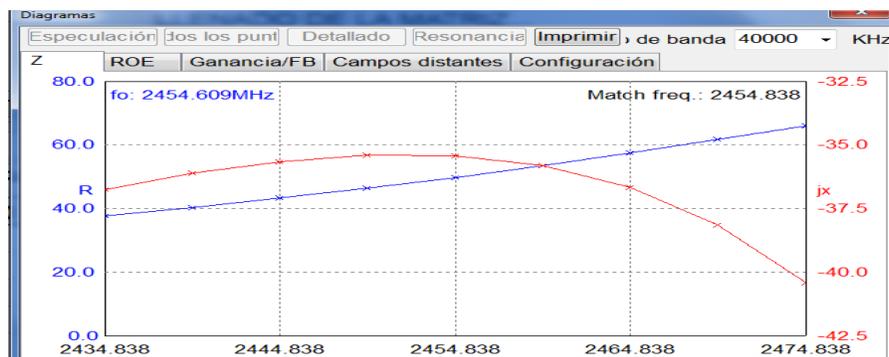


Figura 43 Impedancia de entrada MMANA

⁷⁷ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

En la Figura 43 se representa la impedancia de entrada de la antena con su respectiva frecuencia de operación, además se observa que el valor de la impedancia se encuentra en un valor de 88.5Ω .

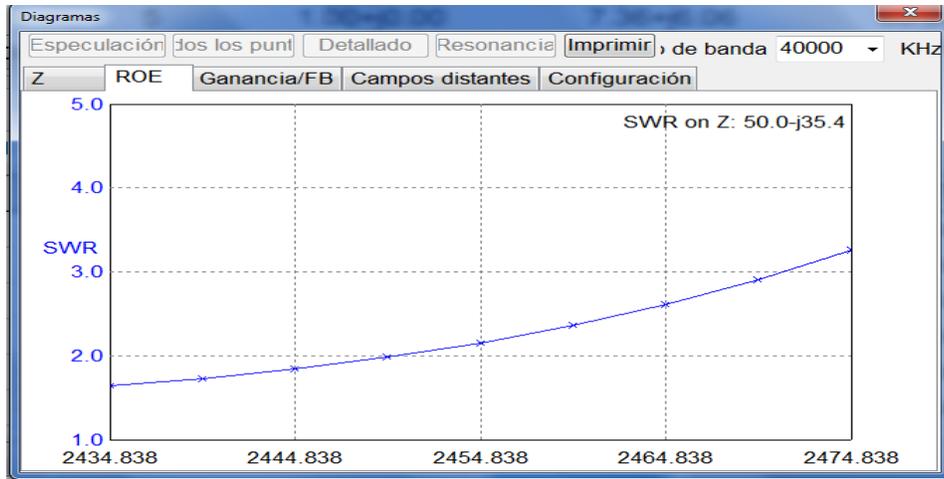


Figura 44 Relación de onda estacionaria en MMANA ⁷⁸

En la figura 44 se muestra ROE que es la relación de onda estacionario que está en un valor de 2.2 dB en función de la frecuencia.

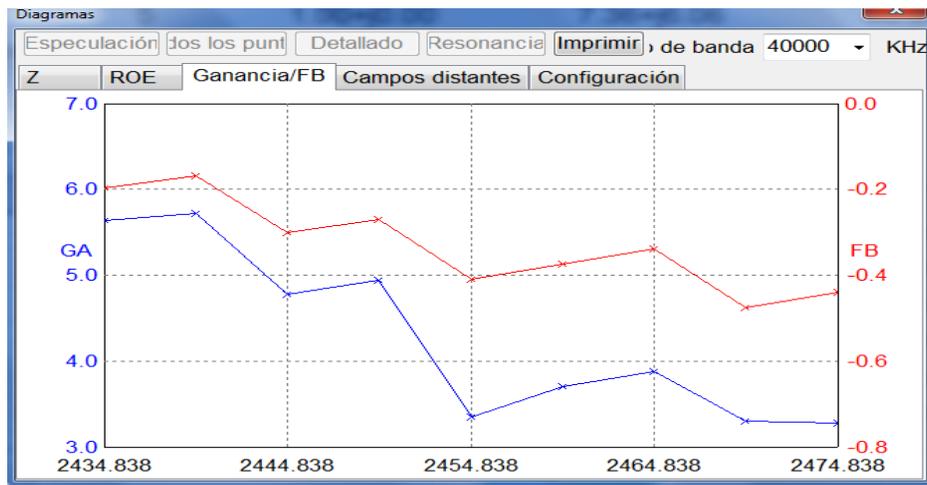


Figura 45 Ganancia de la antena en MMANA

En la figura 45 se indica la ganancia de la antena con un valor de 3.40, que es valor medido con una línea de color azul y un valor de 5 que es el valor suavizado con línea de color rojo, cada uno en función de la frecuencia de resonancia.

⁷⁸ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

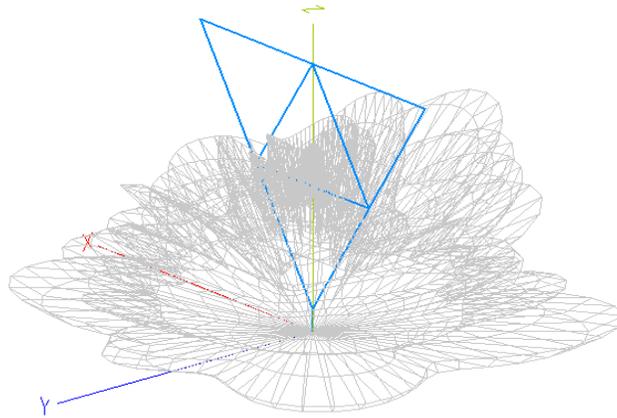


Figura 48 Diagrama de campo lejano 3d con la antena en MMANA⁸¹

Gráfica del campo lejano de la antena con su patrón de radiación en tres dimensiones.

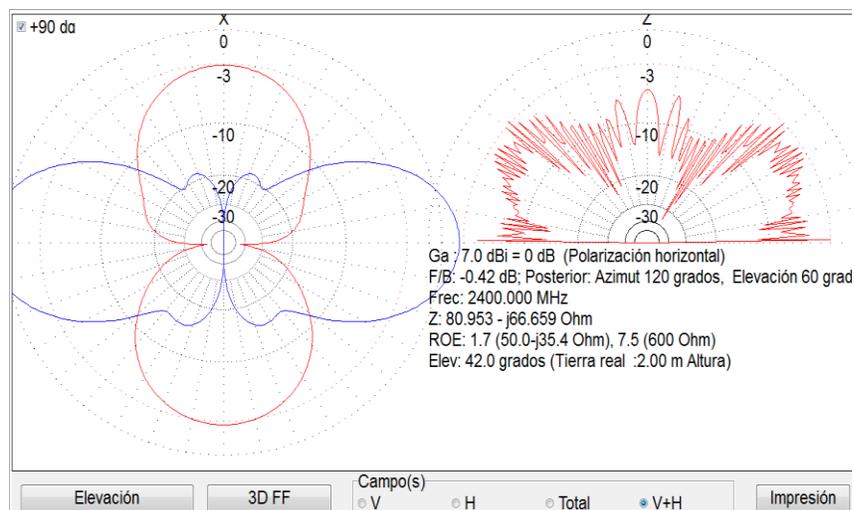


Figura 49 Polarización Horizontal y Vertical en MMANA⁸²

En la figura 49 se muestra la polarización de la antena horizontal y verticalmente, así como su ángulo de elevación, impedancia de la antena, frecuencia de operación y su relación de onda estacionaria.

⁸¹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁸² FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

CAPITULO III RESULTADOS

⁸³Este capítulo hace referencia a las pruebas de operación realizadas con la antena.

Los resultados obtenidos están dentro del contexto esperados, ya que en investigaciones preliminares realizadas con el desarrollo de antenas yagi fractales, se obtuvo respuestas similares en la obtención de los diagramas de radiación, ya que la distribución de densidad de corriente en cada banda sobre la superficie total de la antena, nos indica que la mayoría de corriente se concentra a cada frecuencia, salvo en el caso de las frecuencias más baja ya que la corriente sufre una disminución a través de la superficie de la antena al aumentar la distancia a los terminales de alimentación de la antena fractal, situados en la parte inferior de la antena.

3.1 PRUEBAS REALIZADAS CON LA ANTENA FRACTAL

Una vez que se realiza los cálculos de la antena y sus respectivas simulaciones en el software MMANA se verifica la frecuencia de operación en el analizador de espectros y su correcto funcionamiento.

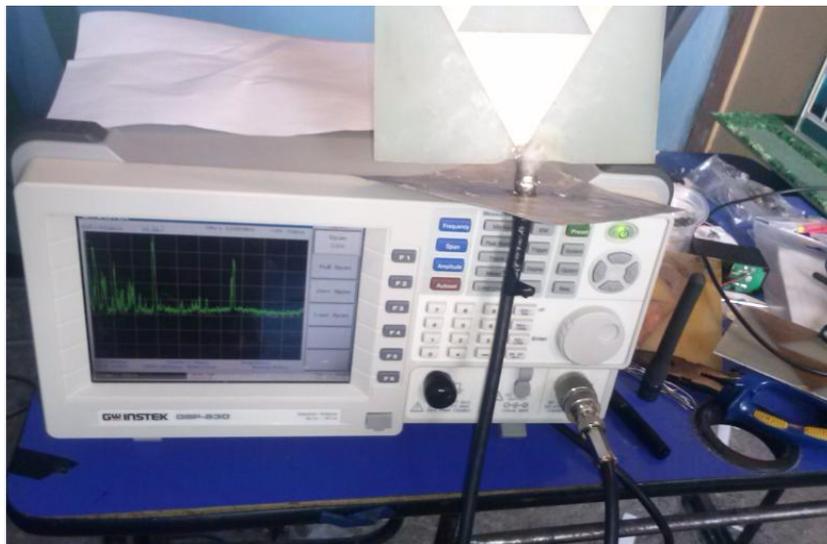


Figura 50 Conexión con el analizador de espectros y la antena⁸⁴

⁸³ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁸⁴ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

2.2 PRUEBAS EN EL ANALIZADOR DE ESPECTROS

Ahora se confirma la frecuencia de operación de la antenna y su respectiva potencia.

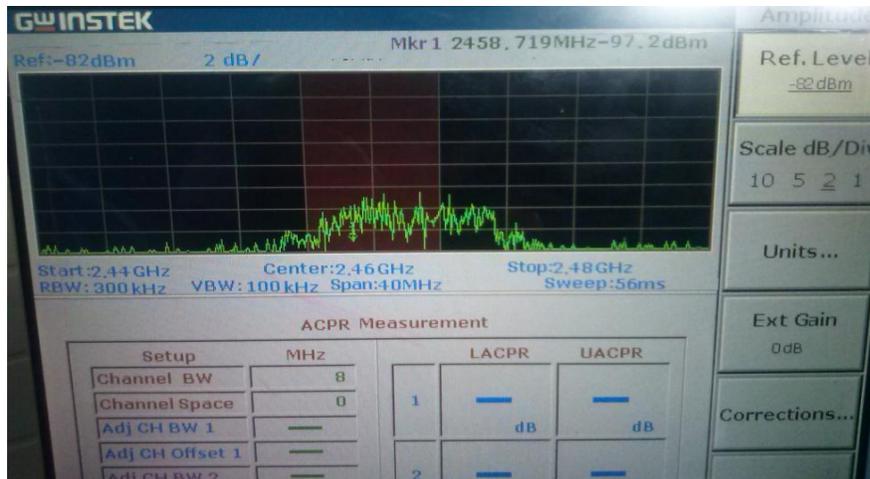


Figura 51 Prueba de la antenna diseñada con su frecuencia de operación⁸⁵

En la figura 51 se observa que al realizar las mediciones el valor de la frecuencia de operación está en 2458.719 MHz con el diseño de nuestro acople calculado en la Carta Smit.

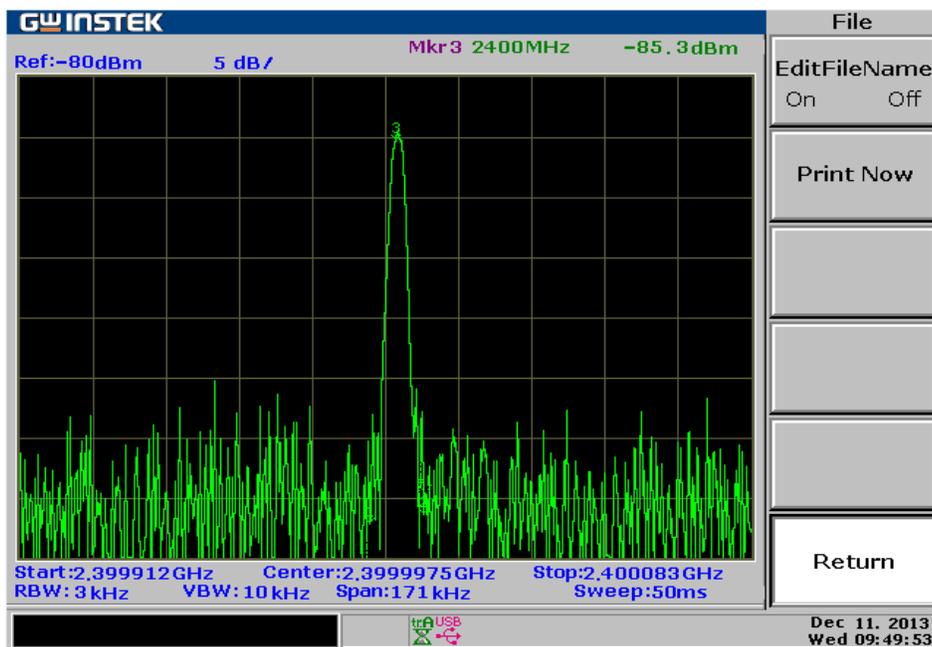


Figura 52 Prueba de la antenna con su frecuencia de operación⁸⁶

⁸⁵FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

En la figura 52 se realiza las mediciones con el acople de figura 44 según el software MMANA, donde se observa tres tipos de frecuencia una de inicio, una central y una de parada, del cual se comprueba que la frecuencia central está en 2400 MHz, que es la frecuencia de operación de nuestra antena.

Por lo cual se opta a realizar todas las mediciones con el cálculo del acople de la figura 43, ya que este tipo de acople nos da muy buena ganancia y la frecuencia de operación se encuentra en 2400 MHz que es la frecuencia de operación de nuestra antena diseñada.

3.3 PRUEBAS CON EL DISPOSITIVO EN SUS DIFERENTES CANALES Y POTENCIA DE LA ANTENA

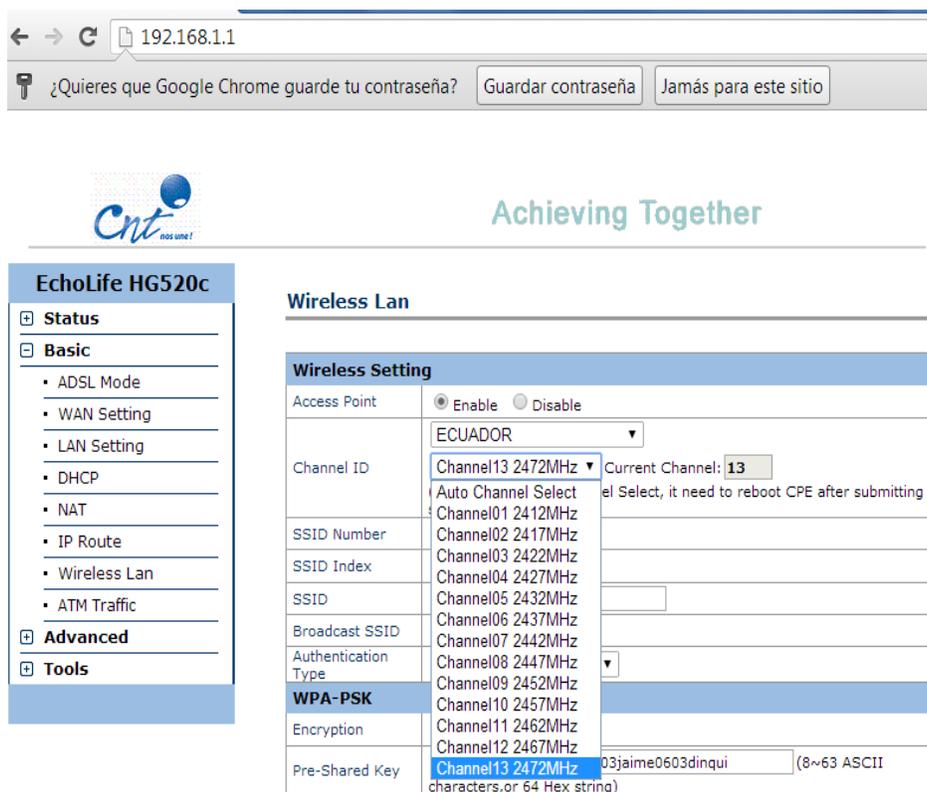


Figura 53 Canales y frecuencia de recepción⁸⁷

⁸⁶ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁸⁷ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

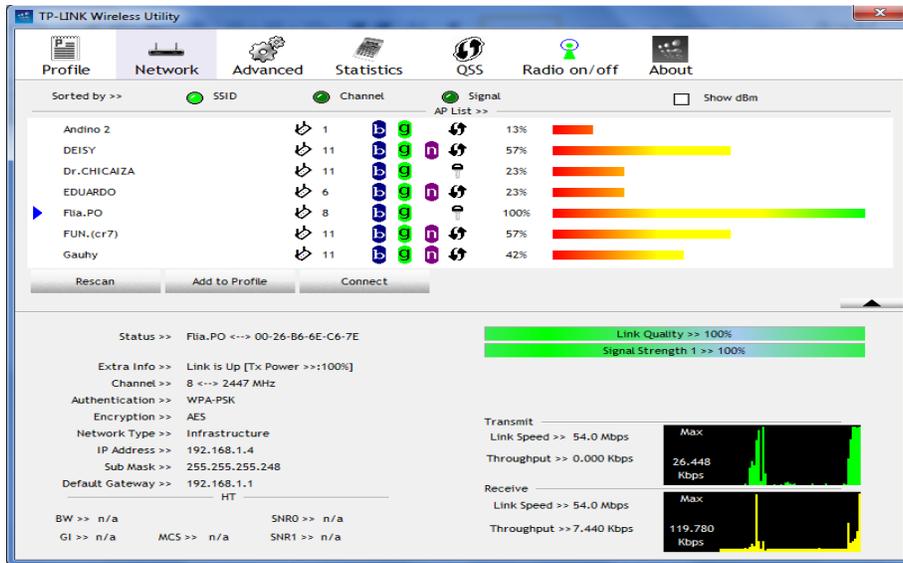


Figura 54 Canal y porcentaje de recepción⁸⁸

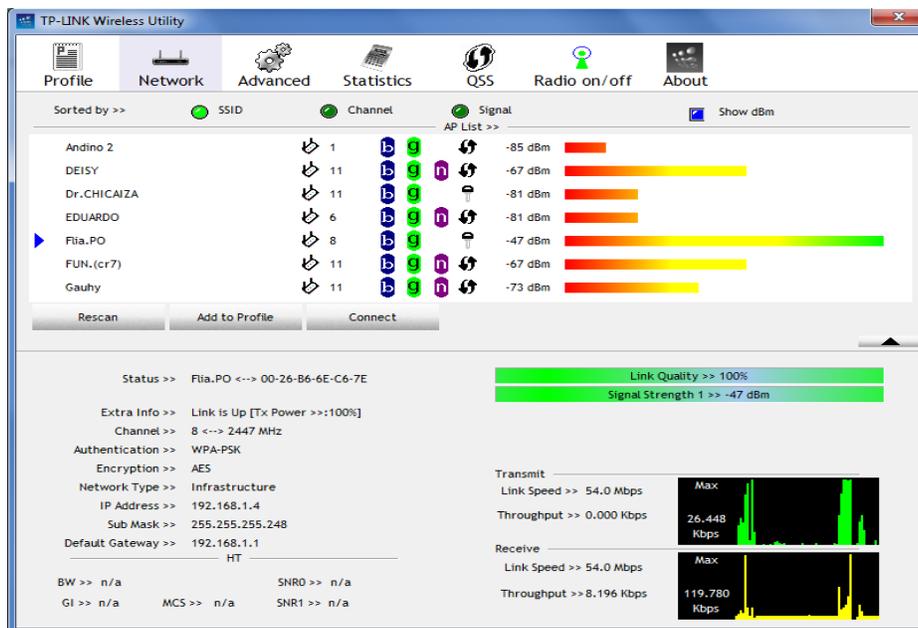


Figura 55 Canal y potencia de recepción⁸⁹

De las pruebas realizadas en los trece canales del dispositivo que brinda el acceso a internet se visualiza que el porcentaje de recepción de la señal Wi-Fi es buena con un valor del 100% en todos sus canales variando con un pequeño grado de

⁸⁸ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁸⁹ FUENTE: José Vinicio Olivarez

diferencia en la potencia, por lo cual se realizan todas las pruebas de recepción en el canal once, con una excelente porcentaje de recepción y muy buena potencia.

3.4 PRUEBAS DE RECEPCIÓN CON LA ANTENA DISEÑADA Y LA DISTANCIA

5 METROS

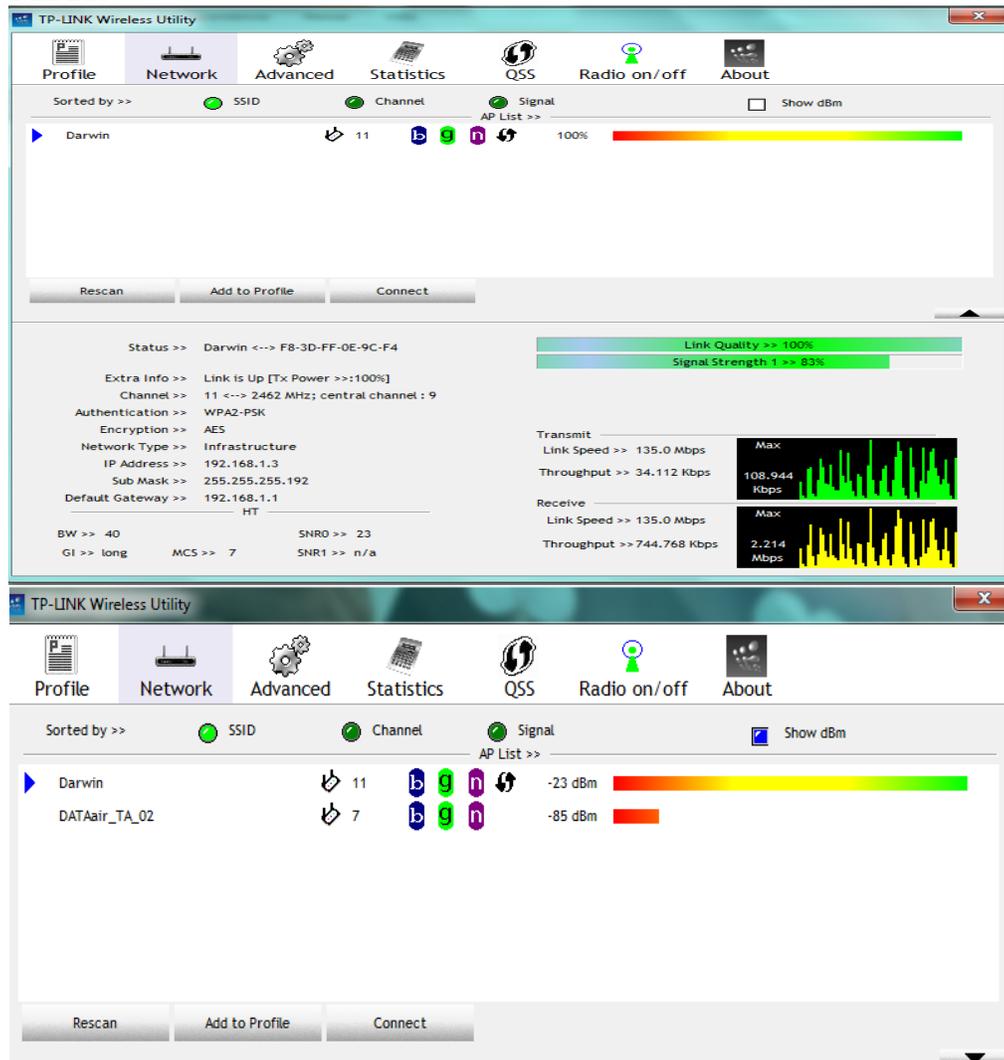


Figura 56 Prueba 1 a una distancia de 5 metros con su respectivo porcentaje y potencia⁹⁰

En la figura 56 se observa el porcentaje de la señal recibida con nuestra antena en su frecuencia de operación del punto de acceso y su potencia, así como también su velocidad de transmisión.

⁹⁰ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

3.5 PRUEBAS DE POTENCIA, ANCHO DE BANDA, VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN, PAQUETES TX, RX Y Y PAQUETES CON ERROR DE LA ANTENA DISEÑADA Y LA ANTENA COMERCIAL

3.5.1 POTENCIA Y DISTANCIA RECIBIDA POR LA ANTENA DISEÑADA Y ANTENA COMERCIAL

Distancia	ANTENA DISEÑADA			ANTENA COMERCIAL TL WND 7200 (CISCO)			ANTENA COMERCIAL AZFOX		
	%	P dBm	P Watts	%	P dBm	P Watts	%	P dBm	P Watts
5m	100	-23	5.063*e-6	100	-25	3.16e-6	100	-25	3.10e-6
10m	80	-32	1e-8	70	-83	5.011e-12	80	-50	1e-8
20m	70	-75	5.011*e-12	30	-80	1e-11	-56	-18	1.5e-12
60m	36	-83	5.012*e-12	35	-83	5.011e-12	18	-85	3.16e-12
80m	38	-85	3.16*e-12	20	-85	3.16e-12	40	-80	1
100m	40	-85	3.16*e-12	35	-90	1e-12	45	-73	5.02
150m	42	-73	5.012*e-11	36	-85	3.16e-12	32	-80	1
200m	42	-73	5.012*e-11	36	-85	3.16e-12	16	-90	1e-12
250m	20	-90	1e-12	18	-91	1e-11	10	-91	7.94
300m	20	-90	1e-12	18	-91	1e-11	0	0	0
310	5	-92	6.309573	0	0	0	0	0	0
320	5	-92	6.309573	0	0	0	0	0	0

Tabla 10 Potencia y distancia de las antenas comercial y diseñada⁹¹

En la tabla 10 se muestra el porcentaje de la señal recibida en función de la distancia con su respectiva potencia en dBm y su equivalencia en Wattios de la antena comercial y la antena diseñada.

Al hacer cierta comparación entre las antenas se observa una variación del dos al diez por ciento más de la antena diseñada con referencia con la antena comercial, lo que nos indica que la antena diseñada se encuentra funcionando en óptimas condiciones con una excelente recepción Wi-fi y muy buena potencia.

⁹¹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

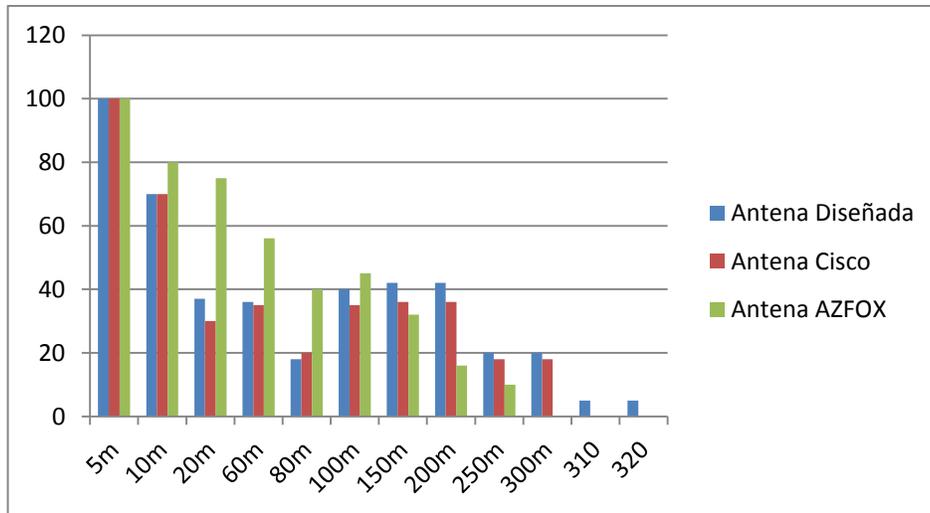


Figura 57 Potencia versus distancia de las antenas diseñada y comercial

De la figura 57 se observa que el porcentaje de potencia va disminuyendo en función que aumenta la distancia en los dos tipos de antenas, tanto en la antena comercial como en la diseñada.

3.5.2 ANCHO DE BANDA Y VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN DE LA ANTENA DISEÑADA Y COMERCIAL

Distancia	ANTENA DISEÑADA		ANTENA COMERCIAL TL WN 7200 (CISCO)		ANTENA COMERCIAL AZFOX	
	B	Velocidad de Tx	B	Velocidad de Tx	B	Velocidad de Tx
5m	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150Mbps
10m	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150 Mbps
20m	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	150 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	145 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	145 Mbps
60m	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	135 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	140 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	140 Mbps
80m	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	115 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	115 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	115 Mbps
100m	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	80 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	13.5 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	10 Mbps
150	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	50 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	13.5 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	15 Mbps
200	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	45 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	13.5Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0
250	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	30 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	13.5 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0
300	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	25 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	13.5Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0
310	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	15 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0
320	$8.115 \cdot 10^{-3}$ Mhz	25 Mbps	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0	$16.24 \cdot 10^{-3}$ Mhz	0

Tabla 11 Acho de banda y velocidad de transmisión de la antena diseñada y comercial⁹²

⁹² FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

De la tabla 11 se observa que mientras se mantiene el ancho de banda en la antena diseñada y las antenas comerciales, la velocidad enlace va disminuyendo en función que se aumenta la distancia, afectado en la recepción de las antenas y disminuyendo la potencia.

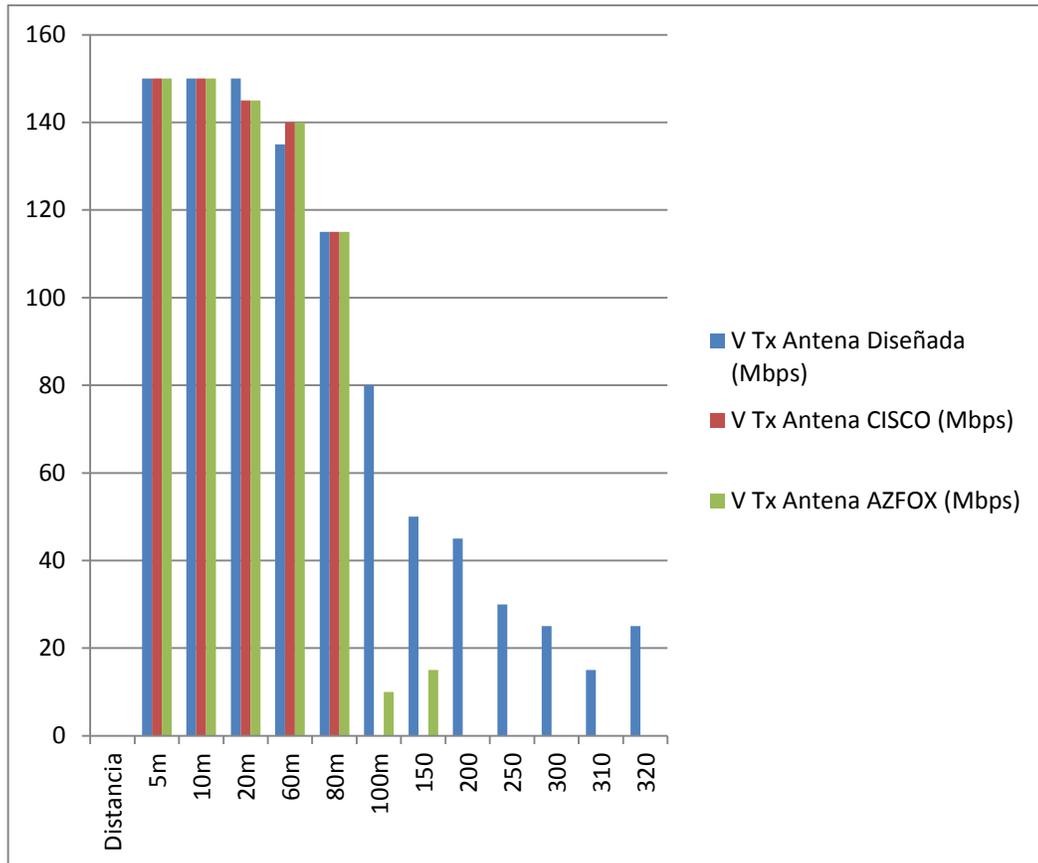


Figura 58 Distancia versus velocidad de transmisión de la antena diseñada y antenas comerciales⁹³

En la figura 58 se nota que la velocidad de enlace es alta mientras está más cerca del dispositivo Wi-Fi y va disminuyendo mientras se alejas del dispositivo y que todas las antenas no tienen el mismo alcance ya que en la antena Azfox se pierde la señal mientras se aumenta la distancia.

⁹³ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

3.5.3 PAQUETES TRANSMITIDOS, RECIBIDOS Y PAQUETES CON ERROR DE LA ANTENA DISEÑADA Y LA ANTENA COMERCIAL

D	ANTENA DISEÑADA			ANTENA COMERCIAL TL WN 7200 (CISCO)			ANTENA COMERCIAL (AZFOX)		
	Paquetes Tx	Paquetes Rx	Paquetes con error	Paquetes Tx	Paquetes Rx	Paquetes con error	Paquetes Tx	Paquetes Rx	Paquetes con error
5m	28059	634610	135	27060	634518	157	27060	597124	137
10m	28060	634530	200	27560	634524	345	27560	568090	350
20m	28137	639624	1025	28130	639632	1125	32789	561202	1235
60m	28155	640682	1574	28150	641676	1572	43450	789123	2569
80m	28160	641876	3014	28163	641854	24785	28163	891234	4580
100m	28167	642078	4256	28167	642340	47933	45167	981230	4730
150	28190	645521	6019	28175	545676	5076	34175	990012	6034
200	28079	654610	137	27060	334518	13587	65043	981203	0
250	28080	684530	210	27560	837524	45290	19834	988771	0
300	29137	649624	1024	28130	135242	1625	18120	989001	0
310	30155	730682	2674	0	0	0	0	0	0
320	32810	741876	3123	0	0	0	0	0	0

Tabla 12 Paquetes transmitidos, recibidos y paquetes con error de la antena diseñada y comercial⁹⁴.

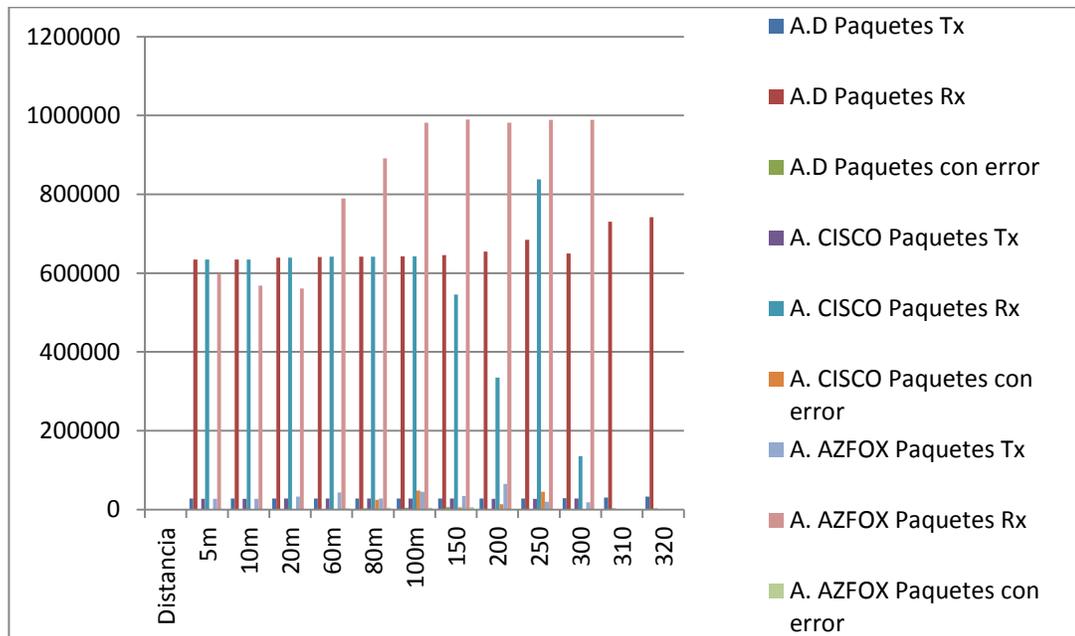


Figura 59 Paquetes Tx, Rx y paquetes con error vs distancia⁹⁵

⁹⁴ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

De la tabla 12 se observa que los paquetes transmitidos tienen valor menor que los paquetes recibidos, tanto en la antena diseñada y las antenas comerciales mientras que los paquetes con error van aumentando según se envíe y recibas los archivos.

3.5.4 ARCHIVO UTILIZADO Y TIEMPO DE DESCARGA

Distancia	Antena diseñada		Antena Comercial TL WND 7200 (CISCO)		Antena Comercial (AZFOX)	
	Archivo	Tiempo	Archivo	Tiempo	Archivo	Tiempo
5m	128 Mb	192 seg	128 Mb	190 seg	128 Mb	201 seg
10m	128 Mb	208 seg	128 Mb	224 seg	128 Mb	222Seg
20m	128 Mb	222 seg	128 Mb	229 seg	128 Mb	218seg
60m	128 Mb	320 seg	128 Mb	315 seg	128 Mb	350seg
80m	128 Mb	392 seg	128 Mb	401 seg	128 Mb	401seg
100m	128 Mb	410 seg	128 Mb	418 seg	128 Mb	435seg
150m	128 Mb	418 seg	128 Mb	425	128 Mb	440seg
200m	128 Mb	452 seg	128 Mb	447	128 Mb	460seg
250m	128 Mb	480seg	128 Mb	458	128 Mb	0
300m	128 Mb	501 seg	128 Mb	480	128 Mb	0
310m	128 Mb	512 seg	128 Mb	0	0	0
320m	128 Mb	520 seg	128 Mb	0	0	0

Tabla 13 Distancia y tiempo de descarga⁹⁶

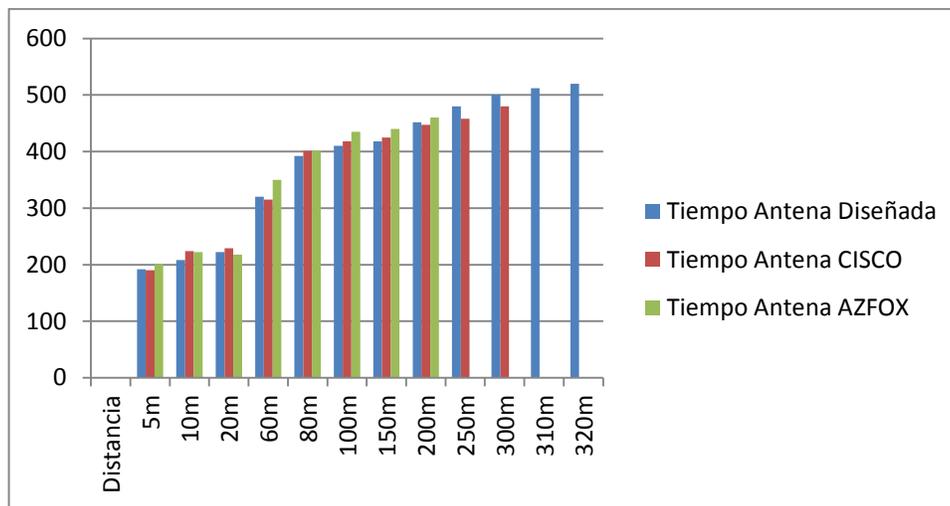


Figura 60 Distancia en función del tiempo⁹⁷

⁹⁵ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁹⁶ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

⁹⁷ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

Se evalúa en la tabla 13 que el tiempo de descarga va aumentado según la distancia en los tipos de antena, esto significa que mientras nos alejamos del punto de acceso a internet se demorará el archivo en descargar.

3.6 ANÁLISIS DE MUESTRAS PARA EL PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS REALIZADAS EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE CHIMBORAZO

DÍA	HORA	PORCENTAJE DE RECEPCIÓN	POTENCIA dBm
1	10	98%	-23
	12	95%	-30
	18	96%	-32
2	10	98%	-25
	12	97%	-28
	18	97%	-28
3	10	96%	-40
	12	97%	-35
	18	96%	-20
4	10	97%	-45
	12	98%	-60
	18	95%	-60
5	10	98%	-25
	12	95%	-28
	18	98%	-29
6	10	96%	-43
	12	95%	-25
	18	97%	-29
7	10	98%	-28
	12	96%	-32
	18	96%	-30
8	10	96%	-49
	12	97%	-32
	18	95%	-25
9	10	97%	-29
	12	95%	-29
	18	96%	-32
10	10	97%	-60
	12	96%	-28
	18	97%	-32
11	10	95%	-29
	12	97%	-32
	18	95%	-38
12	10	98%	-27
	12	95%	-25
	18	97%	-30
13	10	95%	-25
	12	97%	-29
	18	95%	-30
14	10	95%	-29
	12	96%	-42
	18	97%	-38
MEDIA		96.9587≈97%	-32.9761

Tabla 14 Potencia y porcentaje de recepción de la antena Fractal⁹⁸

⁹⁸ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

En la siguiente tabla se representa la muestra del porcentaje de potencia de la antena diseñada para la recepción Wi-Fi con sus respectivos parámetros analizados anteriormente.

3.7 PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS

Hipótesis nula (H₀)

Las pruebas de recepción de la antena fractal dependen de la frecuencia de operación y del tamaño de la antena.

Hipótesis alternativa (H₁)

Las pruebas de recepción de la antena fractal no dependen de la frecuencia de operación y del tamaño de la antena.

Variable independiente	Frecuencia de Operación 2.4-2.5 GHz	Diseño y Tamaño de la antena	TOTAL
Variable dependiente			
Recepción Wi-Fi % esperado	95	95	190
Recepción Wi-Fi % obtenido	100	97	197
TOTAL	195	192	387

Tabla 15 Hipótesis Nula y Alternativa⁹⁹

3.7.1 VALIDACIÓN DEL CHI CUADRADO

- Cálculo n_i^* :
 $n_i^* = n(p)$ (44)

$$n_1^* = 195 \left(\frac{190}{387} \right) = 95,73$$

$$n_2^* = 195 \left(\frac{197}{387} \right) = 99,26$$

⁹⁹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

$$n3^* = 192 \left(\frac{190}{387} \right) = 94,26$$

$$n4^* = 192 \left(\frac{197}{387} \right) = 97,73$$

- Cálculo del valor Crítico χ^2

n_i	n_i^*	$(n_i - n_i^*)$	$(n_i - n_i^*)^2$	$\frac{(n_i - n_i^*)^2}{n_i^*}$
95	95.73	-0.73	0.53	$5.536 * 10^{-3}$
100	99.26	0.74	0.574	$5.782 * 10^{-3}$
95	94.26	0.74	0.574	$6.089 * 10^{-3}$
97	97.63	-0.63	0.396	$4.056 * 10^{-3}$
Total = $\sum \frac{(n_i - n_i^*)^2}{n_i^*}$				0.02146

Tabla 16 Valor Crítico¹⁰⁰

3.7.2 PROBABILIDAD

$$\alpha = 5\% = 0.05$$

3.7.3 GRADOS DE LIBERTAD

$$V = (k-1)(j-1) \text{ (45)}$$

$$V = (2-1)(2-1) = 1$$

Cuando χ^2 en una probabilidad del 0.05 y un grado de libertad de uno tenemos un valor de 3.84

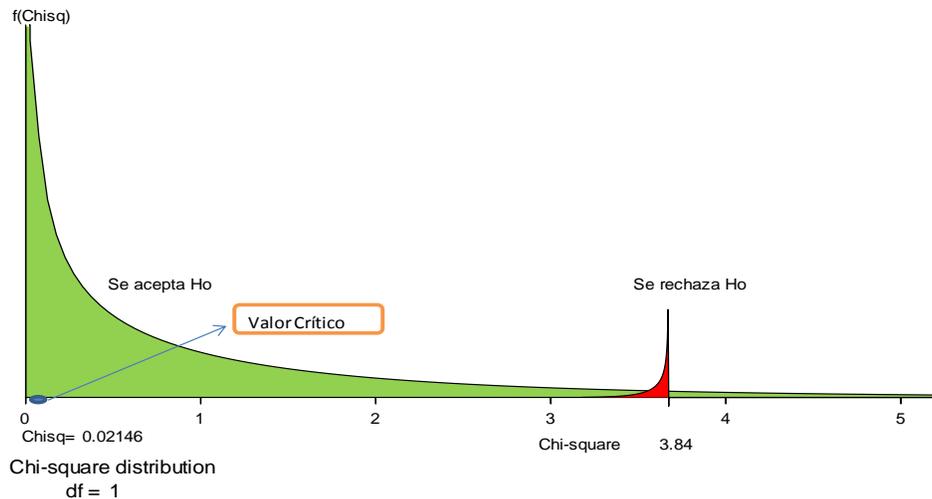


Figura 61 Curva de Chi Cuadrado¹⁰¹

¹⁰⁰ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

Se concluye que para nuestras variables el valor crítico se encuentra en 0.02146 y si observamos en un porcentaje de probabilidad al 5% con un grado de libertad de uno está en un valor de 3.84 donde se puede deducir que se nuestra hipótesis nula es aceptable ya que el valor crítico es mucho menor que la del Chi cuadrado, lo que se asegura que nuestra hipótesis nula es correcta.¹⁰²

3.8 ANÁLISIS FINANCIERO

En la siguiente tabla se detalla todos los materiales que utilizamos para la consecución de este proyecto con sus respectivos precios, cabe mencionar que en base al costo de este proyecto los beneficios que brinda el mismo es de gran utilidad para la sociedad.

COSTO DE LA INVERSION			
CANTIDAD	DETALLE	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
5	Fibra de vidrio	8	40.0
1	Cable coaxial 50 ohm/m	3.80	22.8
1	Cable coaxial RG6 75 ohm/m	0.40	2.0
1	Cable coaxial RG58 C/U 50 ohm/m	2.40	14.40
4	Conectores 50 ohm	4.5	18.0
2	Conectores 75 ohm	0.35	0.70
1	Amplificador TP LINK	40	40
1	Cable USB	5	5.0
10	Funda de ácido	0.40	4.0
4	Brujita	0.50	2.0
1	Epóxica	9	18.0
2	Conector BNC	0.80	0.80
COSTO TOTAL			295.90

Tabla 17 Presupuesto total de materiales¹⁰³

¹⁰¹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

¹⁰² FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

¹⁰³ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

CAPITULO IV DISCUCIÓN

El trabajo de investigación llevado a cabo en este proyecto de tesis no ha pretendido resolver el problema de la recepción del Wi-Fi. Como ya se ha mencionado, uno de los objetivos principales aquí planteados, ha sido el diseño y construcción de una antena fractal para banda ancha en la frecuencia de 2.4 – 2.5 GHz, pruebas de operación y análisis de resultados, profundizando en el estudio del triángulo de Sierpinski, mediante este trabajo realizado hemos logrado mejorar el rendimiento de la antena con una mejor ganancia y mayor efectividad que nos acerca a nuestro objetivo planteado.

Varias líneas de investigación, hoy en día, suponen todavía hay que hacer un gran esfuerzo por parte de los investigadores en el campo de geometría fractal, y más concretamente en las antenas fractales.

El diseño de antenas es sin duda una de las ramas complejas de la ingeniería. Si a la dificultad intrínseca para este tipo de aplicaciones, le añadimos el componente de innovación que representan las geometrías fractales nos encontramos ante un interesante desafío.

Conceptos como la dimensión fractal y las propiedades más relevantes, se han abordado desde una perspectiva sencilla para proporcionar una introducción a la mencionada geometría.

Con el fin de averiguar el motivo de este tipo de antena nos basamos del programa MMANA para las simulaciones realizadas, se han sometido tanto el diseño como la antena fabricada, a un riguroso análisis para su diseño y construcción de esta antena.

CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Este tipo de antena posee un comportamiento que le permite tener varias frecuencias de resonancia, o lo que es lo mismo, tener un comportamiento multibanda o multifrecuencia.
- La clave de su aspecto es la repetición de un patrón sobre uno o más espacios.
- Una antena fractal tiene una respuesta en frecuencia completamente diferente a las antenas tradicionales ya que es capaz de ofrecer excelentes ganancias en diferentes frecuencias de manera simultánea.
- La frecuencia de resonancia cuando se cambia el material de la antena de Baquelita o Fibra de Vidrio lleva a la conclusión que el material de la antena tiene incidencia en el cálculo de la frecuencia de resonancia por su permitividad.
- En la mayoría de las antenas tradicionales existe una frecuencia para la cual ofrecen su máxima ganancia y en el resto de frecuencias la ganancia se ve rápidamente reducida.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda hacer arreglos de antenas fractales Sierpinski para que operen varias bandas o modos localizados de tal manera que reduzcan el número de elementos, de esta manera se reduce la complejidad mecánica y puede llegar a ser una solución en aplicaciones satelitales.
- Se recomienda modificar las dimensiones de la antena o las técnicas de alimentación al cable coaxial para obtener la frecuencia de resonancia deseada.
- Se recomienda utilizar antenas fractales debido a que tienen muchos beneficios en comparación con las convencionales, y pueden aprovechar el apogeo de las comunicaciones wireless y el desarrollo incesante de una

variedad de aplicaciones inalámbricas para incrementar notablemente la demanda de antenas multibanda.

- Además en la fabricación puede haber problemas ya que si se quiere frecuencias de resonancia grandes, se tiene que reducir el tamaño y esto puede causar problemas durante la fabricación de la antena. Por tanto se aconseja tomar las precauciones necesarias cuando se diseñe la antena y su material de utilización.
- Se recomienda utilizar antenas fractales multibanda, ya que nos proporciona una gran ganancia en sus distintas frecuencias de operación.

CAPITULO VI PROPUESTA

6.1 TITULO DE LA PROPUESTA

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ANTENA FRACTAL PARA BANDA ANCHA EN LA FRECUENCIA DE 2.4 – 2.5 GHZ, PRUEBAS DE OPERACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

6.2 INTRODUCCIÓN

Muchos diseños de antenas son altamente dependientes de la frecuencia, el tamaño de la antena relativo a la longitud de onda de operación es el principal factor de limitación en el ancho de banda. En los principios de los años sesenta algunas estructuras autoescalables tales como espirales, conos y arreglos logoperiódicos fueron desarrollados para el diseño de antenas independientes de la frecuencia por Rumsey. El Factor común es que la forma de estas estructuras permanece invariable bajo transformaciones de escala.

Los fractales son estructuras autoescalables. Esto significa que su forma permanece igual bajo los cambios de escala, se dice que no poseen características de tamaño. Cuando se observa algunas de las partes que componen la estructura, se encuentra una menor forma del objeto global. Un fractal ideal es aquel que no posee características de tamaño, como se mencionó anteriormente, tiene un número infinito de escalas y tamaños que son contenidos dentro del mismo objeto. Por lo tanto podrían usarse para el diseño de sistemas radiantes, y se podría esperar comportamientos de operación multibanda. Este artículo analiza dos antenas, la antena multibanda fractal Sierpinski y el monopolo fractal de Koch

6.3 OBJETIVOS

6.3.1 OBJETIVO GENERAL

- El presente proyecto consiste en el estudio de las antenas fractales y su geometría, así como el diseño y construcción de una antena fractal para banda ancha en la frecuencia de 2.4 – 2.5 GHZ con sus respectivas pruebas de operación y análisis de resultados.

6.3.2 OBJETIVO ESPECÍFICO

- Estudiar la geometría fractal y en concreto la antena fractal basada en el triángulo de Sierpinski
- Realizar el diseño de un prototipo mediante simulación.
- Construcción de la antena.
- Comprobación de resultados medidos y simulados.
- Diseñar filtro para captar de manera adecuada el canal seleccionado.

6.4 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO-TÉCNICA

La investigación que se realiza ha concluido en el uso de las siguientes tecnologías.

6.4.1 TL -WN7200ND

TL-WN7200ND de TP-LINK es un adaptador de 150 Mbps inalámbrico de alta potencia que permite a los usuarios para permitir a sus PCs o portátiles con capacidad inalámbrica muy potente para ofrecer mejoras de rendimiento. El adaptador adopta un diseño de alta potencia con transmisión de potencia de salida de hasta 1000 MW, que ofrece hasta 8 veces la gama de adaptadores convencionales. Una de las mejores características del TL-WN7200ND es su penetrabilidad fuerte, que puede asegurar efectivamente que la señal no pierda la intensidad de la señal y se mantiene la fiabilidad cuando se pasa a través de varias paredes o pisos.

6.4.2 WIFI

El desarrollo de dispositivos informáticos y no-informáticos conectados ha supuesto el crecimiento de la instalación de tecnologías basadas en las radiofrecuencias y microondas que permiten la conexión inalámbrica entre distintos ordenadores y/o portátiles. La tecnología wifi (Wireless Fidelity), ofrece la posibilidad de conexiones rápidas a través de señales de radio sin cables o enchufes. Las tecnologías Bluetooth, wifi, PDAs, WiMAX (wifi de banda ancha) tienen el denominador común de referirse a tecnologías que permiten la comunicación de voz y datos sin utilizar cables.

Estas tecnologías (tecnologías wireless) están reemplazando a los cables de conexión. Las redes inalámbricas tipo Bluetooth, con un alcance de 100 metros o los sistemas wifi, de un alcance superior, donde podemos estar permanentemente conectados. Todos estos sistemas emiten campos electromagnéticos de microondas pulsantes similares a la telefonía móvil.

6.5 DESCRIPCIÓN DE LA PROPUESTA

Se diseña e implementa este tipo de proyecto de gran relevancia ya que promueva la investigación y la elaboración de proyectos orientados hacia la miniaturización de dispositivos de comunicación, así mismo busca despertar el interés de los estudiantes por la aplicación de teorías vanguardistas orientadas a las telecomunicaciones tales como la teoría de los fractales, ampliamente usadas en otros campos de la ciencia, lo cual representa un avance en materia tecnológica primeramente para la universidad y por ende para el país.

Para la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Chimborazo, el proyecto sirve de base para la investigación de nuevas tecnologías, las cuales se pueden continuar desarrollando a futuro y de esta manera ser pionero en proyectos de diseño y construcción de dispositivos para el área de las telecomunicaciones.¹⁰⁴

6.6 DISEÑO ORGANIZACIONAL



¹⁰⁴ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

6.7 MONITOREO Y EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA

La evaluación de la propuesta se la hará por parte del tutor de este proyecto, ya que él está al tanto del desarrollo de la misma y todas sus características.

Por otro lado y de entrar en uso este sistema, su monitoreo deberá encargarse al docente encargado de la utilización del equipo, quien aparte de ser usuario del equipo se convertirá en administrador del sistema, y será la persona que analice posibles cambios o recomendaciones para la eficiencia del sistema, que pueden ser tratados en futuros estudios.

CAPITULO VII

UNIDAD BIBLIOGRAFIA

- “Antenas “ https://www.u-cursos.cl/ingeniería/2005/1/EL55A/1/material_docente/objeto/64724.
- Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Física y Matemáticas, Departamento de Ingeniería Eléctrica
- “Antenas” <http://www.upv.es/antenas/> Universidad Politécnica de Valencia
- “Antenas”<http://www.monografias.com/trabajos6/ante/ante.shtml>
- Universidad Fermin Toro. Escuela de Ingeniería Eléctrica, Cabudare, Diciembre del 2000
- “Antenas: El poder de la comunicación”
<http://antenasparatodos.blogspot.com/> Rafa Villena
- “Antenas” <http://web.frm.utn.edu.ar/comunicaciones/antenas.html>
- MANDELBROT Benoit, The Fractal Geometry of Nature, Segunda Edición, San Francisco, California. W.H. Freeman and Company, 1983.
- CARDAMA Angel, JOFRE Lluís, RIUS Juan, ROMEU Jordi, BLANCH Sebastián, Antenas, UPC Edicions, Barcelona, 2002
- Historia de las Antenas, Universidad Politécnica de Valencia, [Fecha de consulta: 20 Diciembre 2007]
- www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Historia_antenas.pdf
- Avances Recientes, Universidad Politécnica de Valencia, [Fecha de consulta: 3 Enero 2008],
http://www.upv.es/antenas/Tema_1/avances_recientes.htm
- DEPARTAMENTO DE TCI, Líneas, Antenas y Propagación, Escuela de Especialidades Antonio Escaño
- AREA DE TEORIA DE LA SEÑAL Y COMUNICACIONES, Intensificación de Comunicaciones, Universidad de Oviedo, Oviedo, 2005, [Fecha de consulta: 03 Abril 2007] Disponible en:

http://www.epsig.uniovi.es/academica/Planes%20de%20Estudio/Optativas/Telecomunicacion/Intensificacion_COMUNICACIONES.pdf

- RAMIREZ Cayetano, La naturaleza, fuente de inspiración para Artistas y Matemáticos, [Fecha de consulta: 18 Diciembre 2007] Disponible en: <http://divulgamat.ehu.es/weborriak/Exposiciones/ArteMate/Cayetano/Lema2.asp>
- Trabajos de Investigación Matemática, Fractales: La representación gráfica del caos, [Fecha de consulta: 19 Diciembre 2007], Disponible en: <http://centros5.pntic.mec.es/sierrami/dematesna/demates23/opciones/investigacion/fractales/fractales.htm>
- YANGO, Fractales, una nueva geometría, 2005 [Fecha de consulta: 03 Abril 2007] Disponible en: [http://usuarios.lycos.es/sisar/fractales/Fractales%20una%20nueva%20geometria%20\(web\).pdf](http://usuarios.lycos.es/sisar/fractales/Fractales%20una%20nueva%20geometria%20(web).pdf)
- FEDER, J. Fractals, Plenum publishers, New York, 1988.138
- LA COCTELERA, Nada es imposible; todo puede suceder, [Fecha de consulta: 19 Diciembre 2007] Disponible en : <http://licemar.lacoctelera.net/posts/category/curiosidades>
- FERRANDO Miguel, VALERO Alejandro, Antenas, Departamento de Comunicaciones, Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2002 [Fecha de consulta: 02 Abril 2007] Disponible en: http://www.upv.es/antenas/Documentos_PDF/Notas_clase/Antenas_microstrip.pdf
- Estudio exploratorio de carácter bibliográfico sobre los conceptos fundamentales y comunes a los métodos de análisis de Tecnología Microstrip, Universidad Blas Pascal, Buenos Aires, 2003 [Fecha de consulta: 15 Febrero 2007] Disponible en: http://mi.ubp.edu.ar/archivosmiubp/MaterialDeEstudio/13/RC-II/212/1.CONCEPTOS_BASICOS_DE_MICROSTRIP.pdf

- FRACTAL ANTENNA SYSTEMS, [Fecha de consulta: 17 Julio 2007], Disponible en: <http://www.fractenna.com>
- FRACTUS S.A., [Fecha de consulta: 17 Julio 2007], Disponible en: <http://www.fractenna.com>
- GAUBERT Cédric, CHUSSEAU Laurent, THz Fractal Antennas for Electrical and Optical Semiconductor Emitters and Receptors, Wiley, Hoboken, New Jersey 2004 [Fecha de consulta: 20 Agosto 2007] Disponible en: <http://www.opto.univ-montp2.fr/~chusseau/publications/intro/Publis/PLMCN3/notes.pdf>
- COHEN, Nathan. Fractals' New Era In Military Antenna Design. [Fecha de consulta: 15 Julio 2007] Disponible en: <http://www.rfdesign.com>
- PUENTE Carlos, ROMEU Jordi, POUS Rafael, Cardama Angel. On The Behavior of the Sierpinski Multiband Fractal Antenna. UPC, Barcelona-1998 [Fecha de consulta: 28 Noviembre 2007] Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/e-prints/bitstream/2117/1698/4/Pous.pdf>
- HODLMAYR, Werner. Introduction to Fractal Technology and Presentation of a Fractal Antenna adaptable to any Transmitting Frequency. The Fractent. Enero del 2004 [Fecha de consulta: 21 Julio 2007] Disponible en: <http://www.antennex.com/Stones/st1204/meet.html>

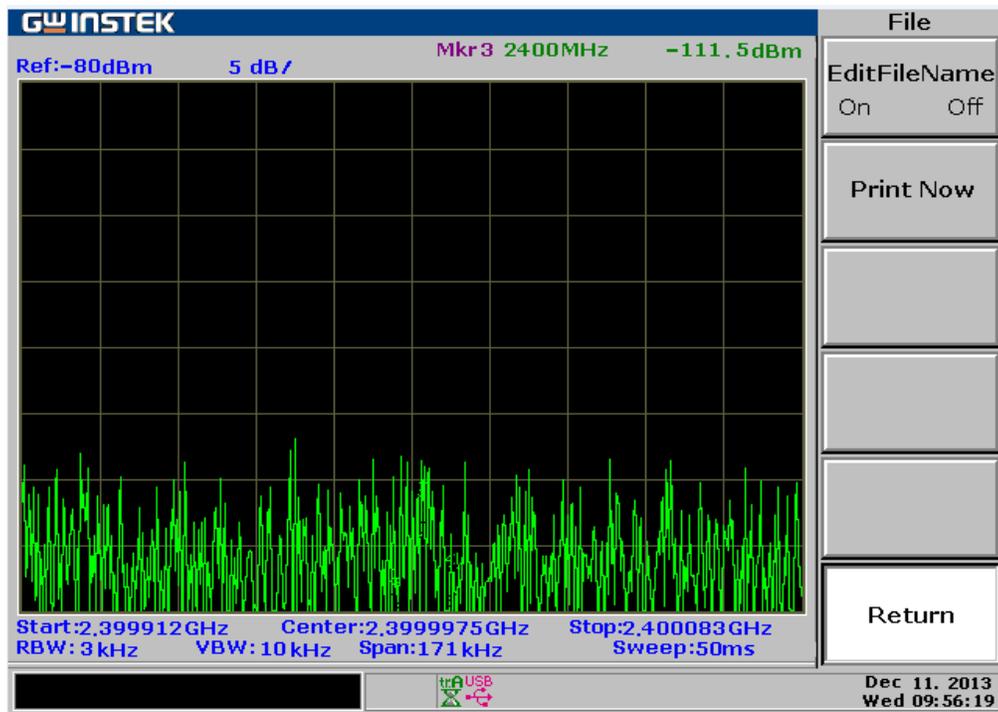
CAPITULO VIII

ANEXOS

ANEXO 1

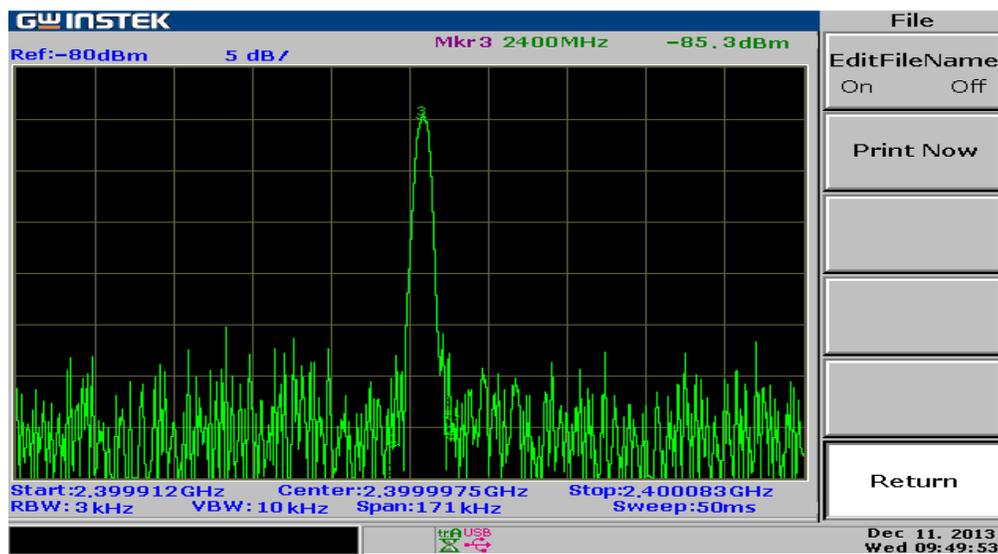
¹⁰⁵PRUEBAS DE LA ANTENA CON EL ANALIZADOR DE ESPECTROS

¹⁰⁵ **FUENTE:** José Vinicio Olivarez Yachimba



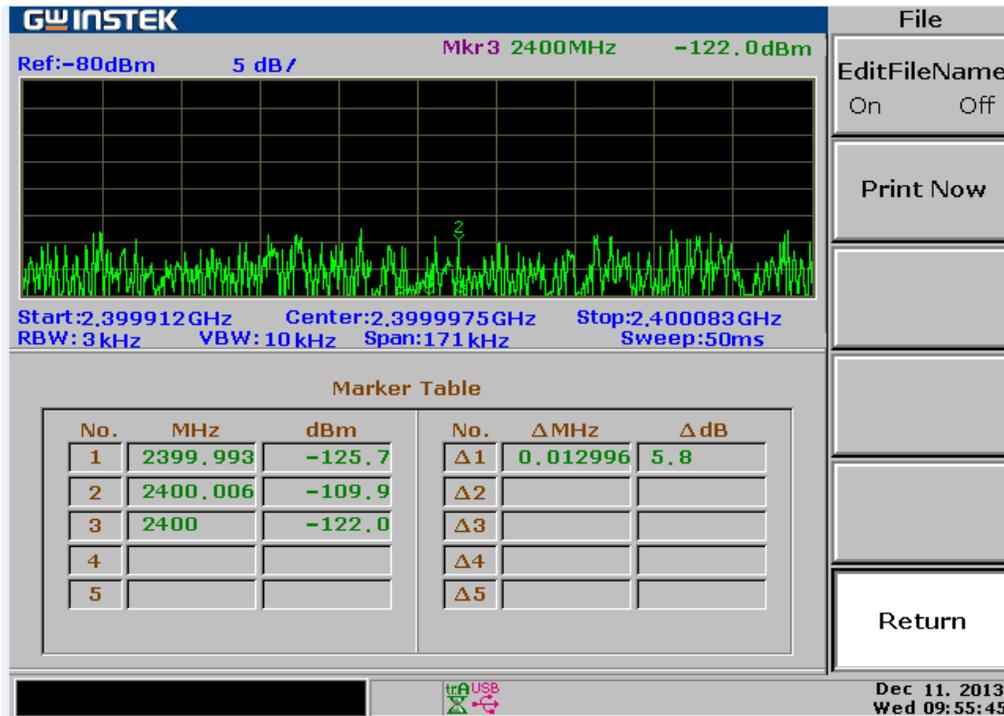
Prueba 1 realizada en el analizador de espectros

Una vez que se conecta la antena con el analizador de espectros se opta por indicar una frecuencia de comienzo, de parada y central como se muestra en la prueba 1



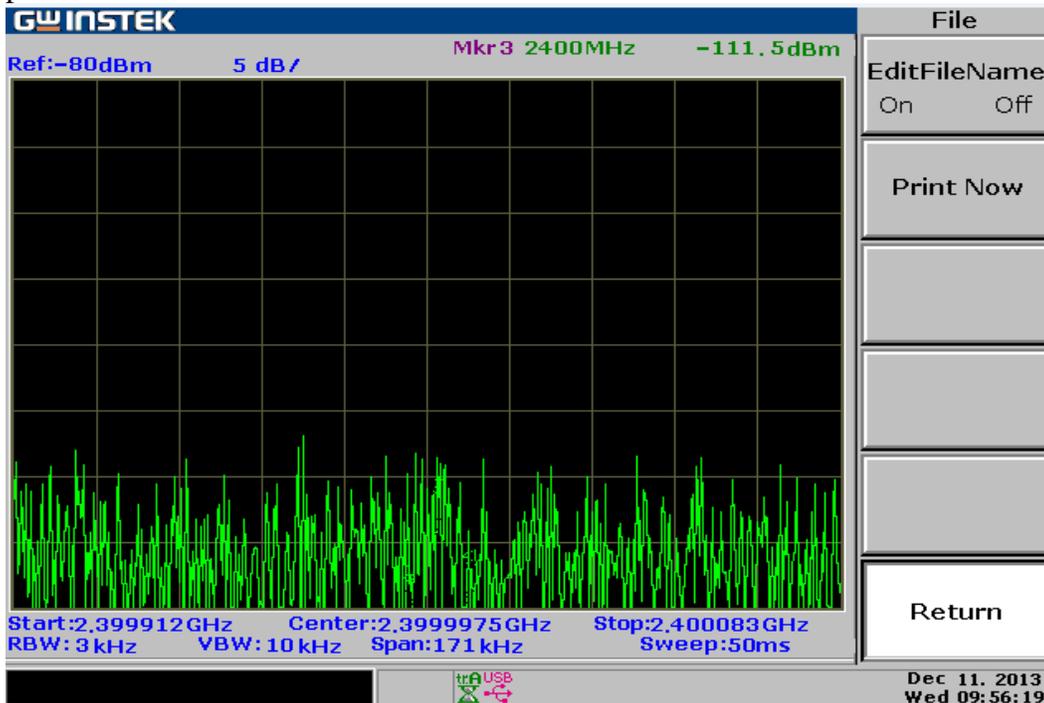
Prueba 2 realizada en el analizador de espectros

En la prueba 2 se observa que tenemos una máxima ganancia en la marca 3 que nos indica la frecuencia de operación.



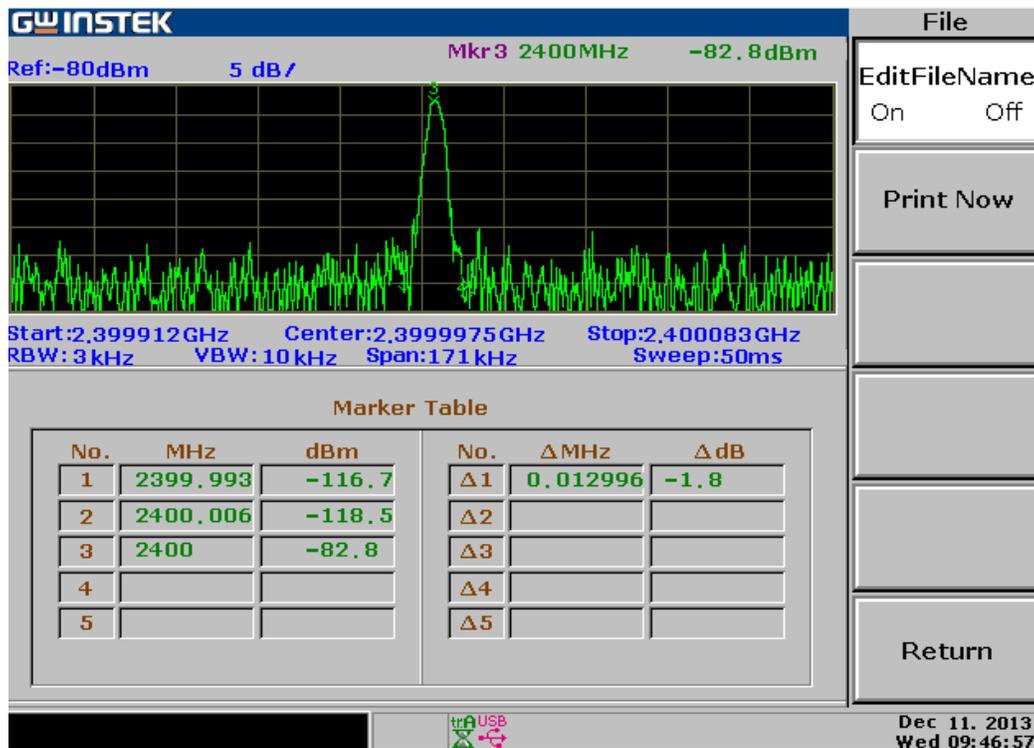
Prueba 3 realizada en el analizador de espectros

En la prueba 3 se muestra cada una de las marcas y su respectivo valor de potencia.



Prueba 4 realizada en el analizador de espectros

En la prueba 4 se muestra la frecuencia central y su potencia.



Prueba 5 realizada en el analizador de espectros

En la prueba 5 se muestra tres tipos de marcas cada una con su potencia correspondiente y su frecuencia central, lo que nos indica que nuestra antena se encuentre en óptimos valores como nos indica las pruebas realizadas.

ANEXO 2

¹⁰⁶**PRUEBAS CON EL DISPOSITIVO EN SUS DIFERENTES CANALES Y
POTENCIA DE LA ANTENA**

¹⁰⁶ **FUENTE:** José Vinicio Olivarez Yachimba

CANAL 1

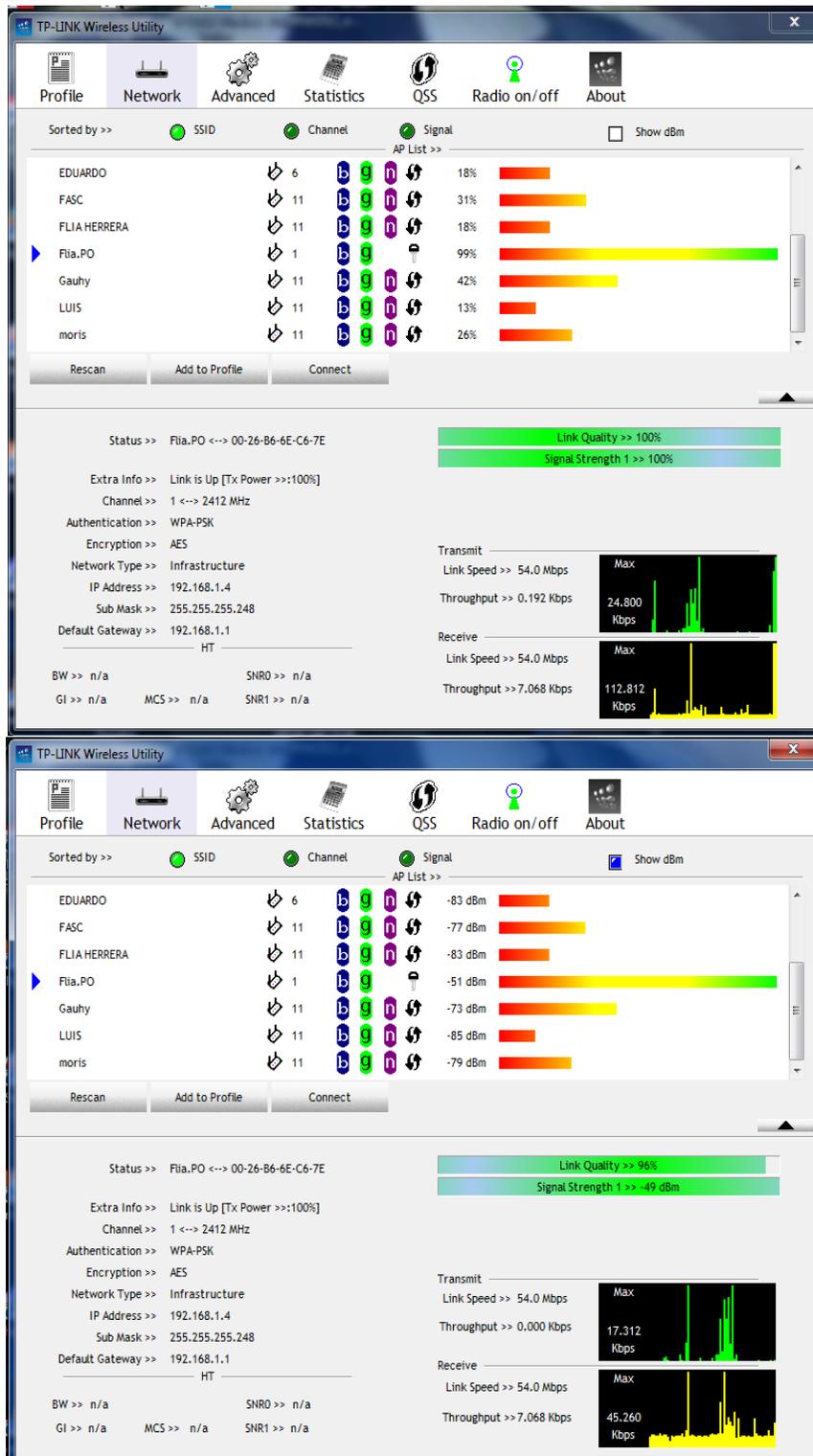


Figura 62 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 2

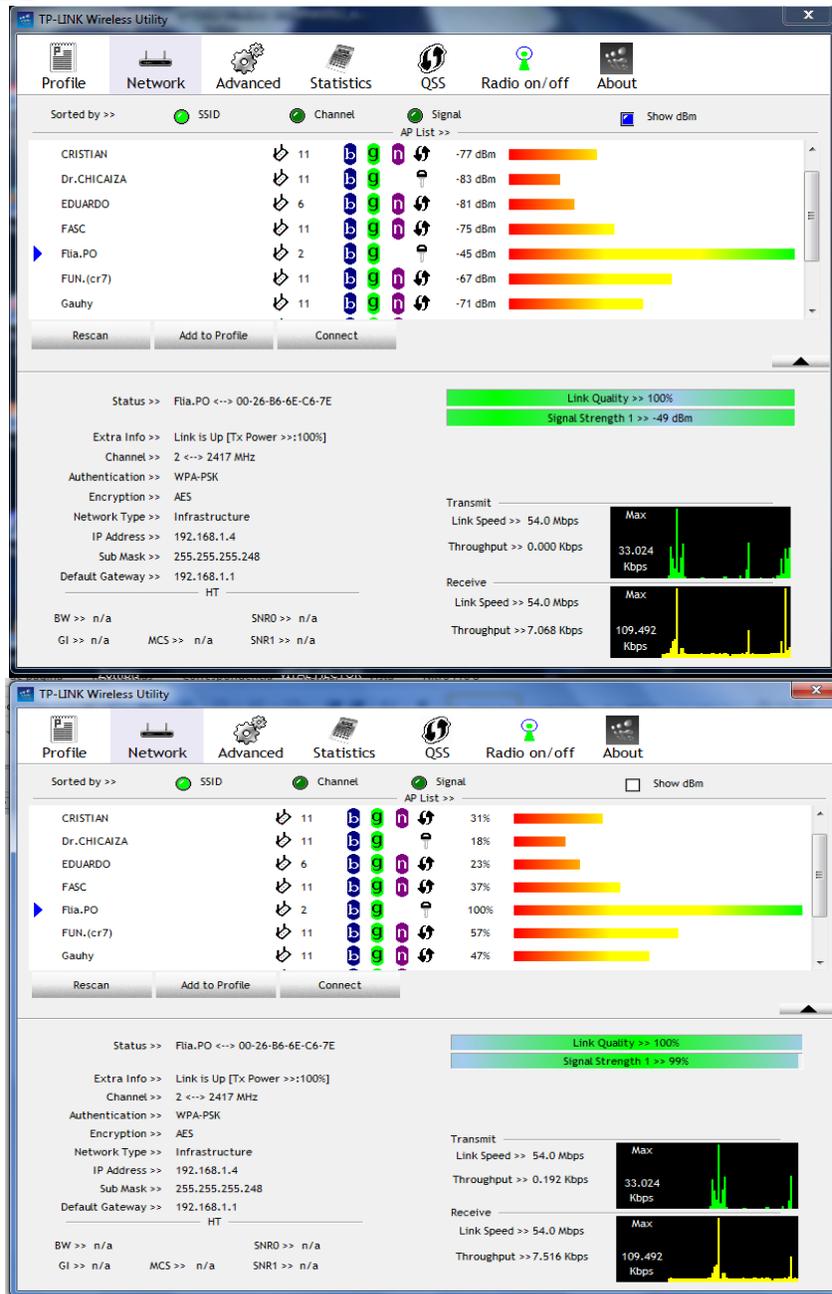


Figura 63 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 3

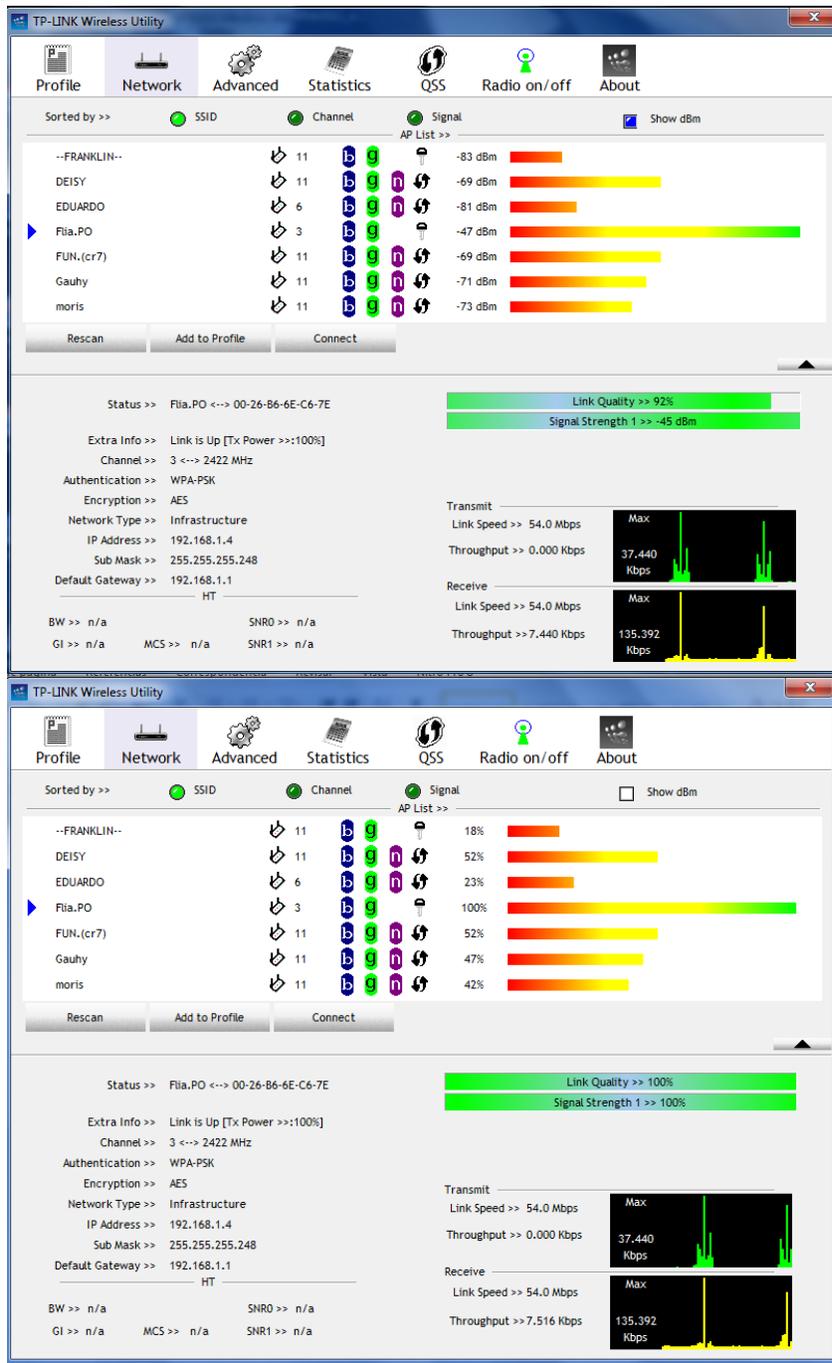


Figura 64 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 4

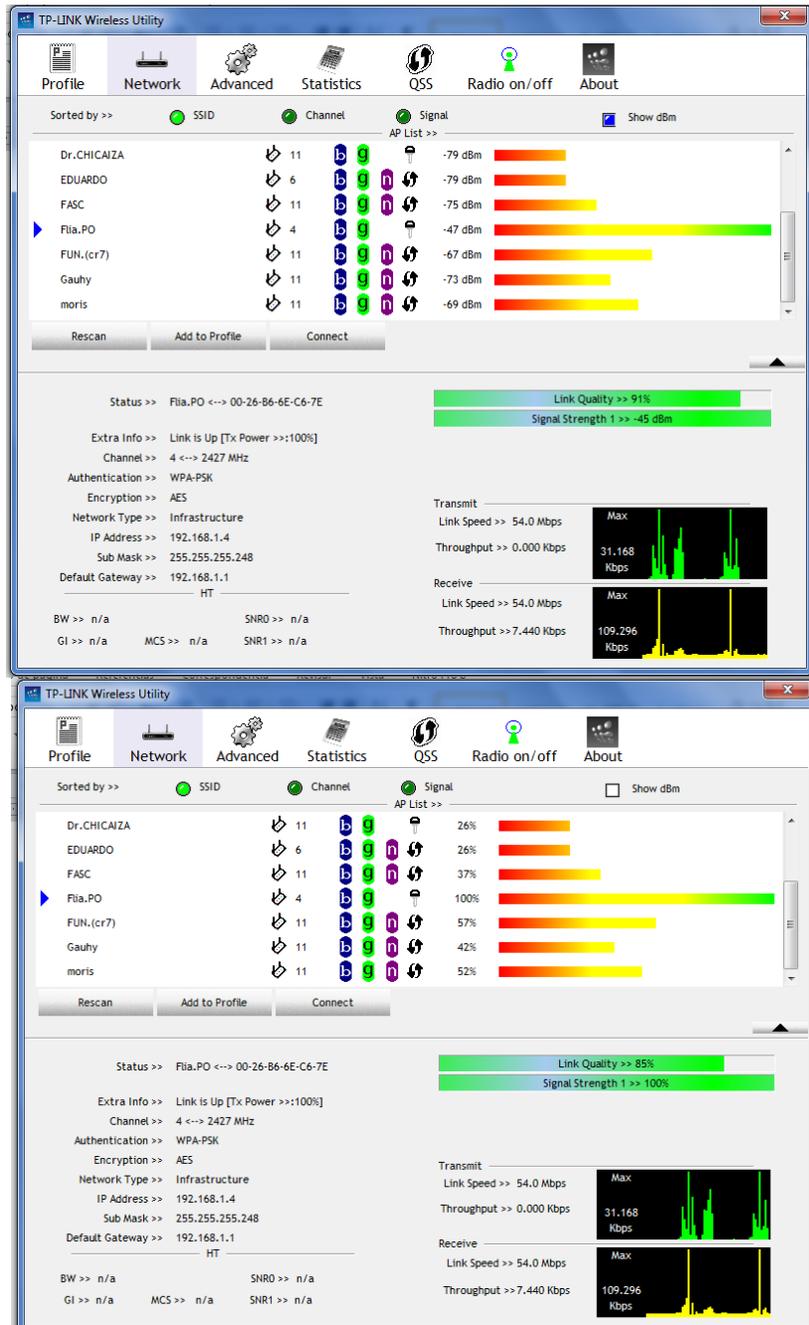


Figura 65 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 5

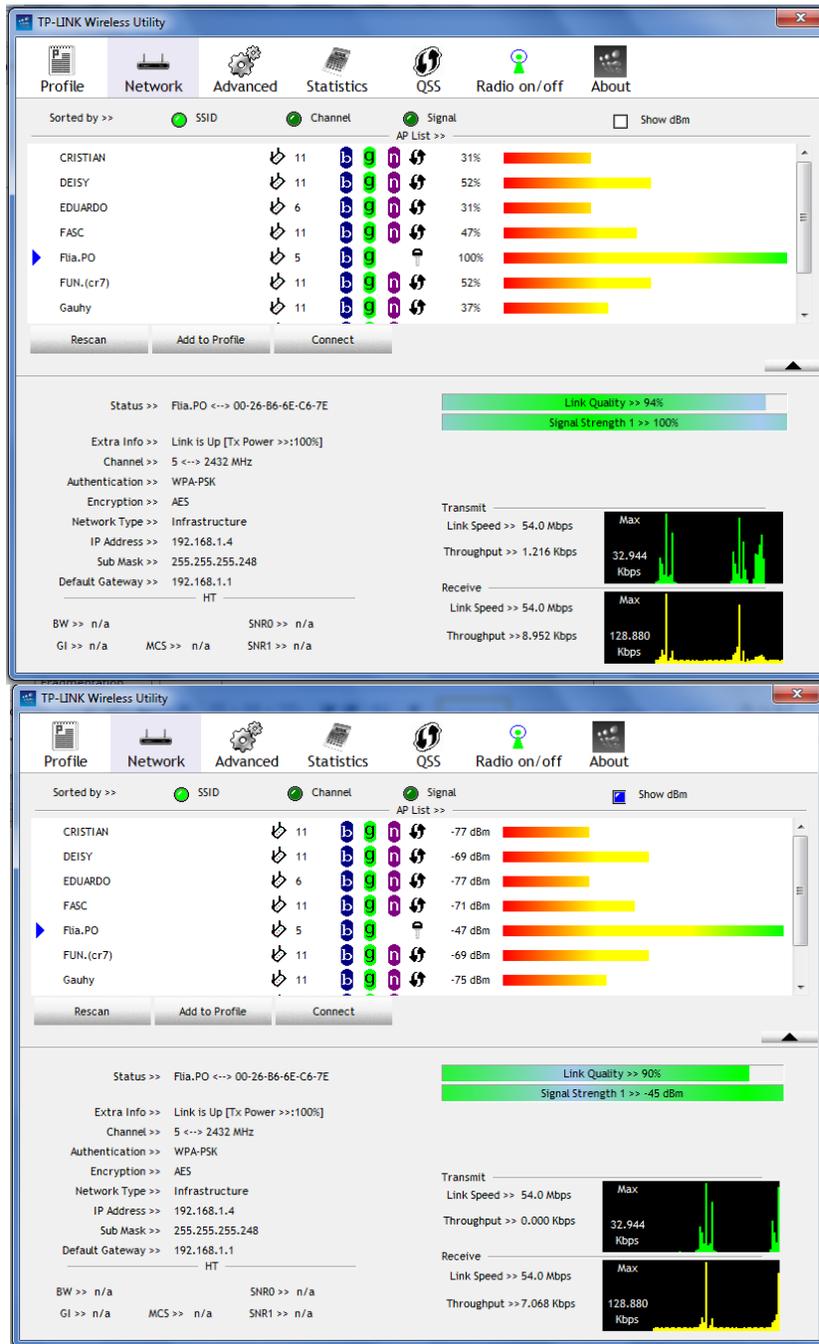


Figura 66 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 6

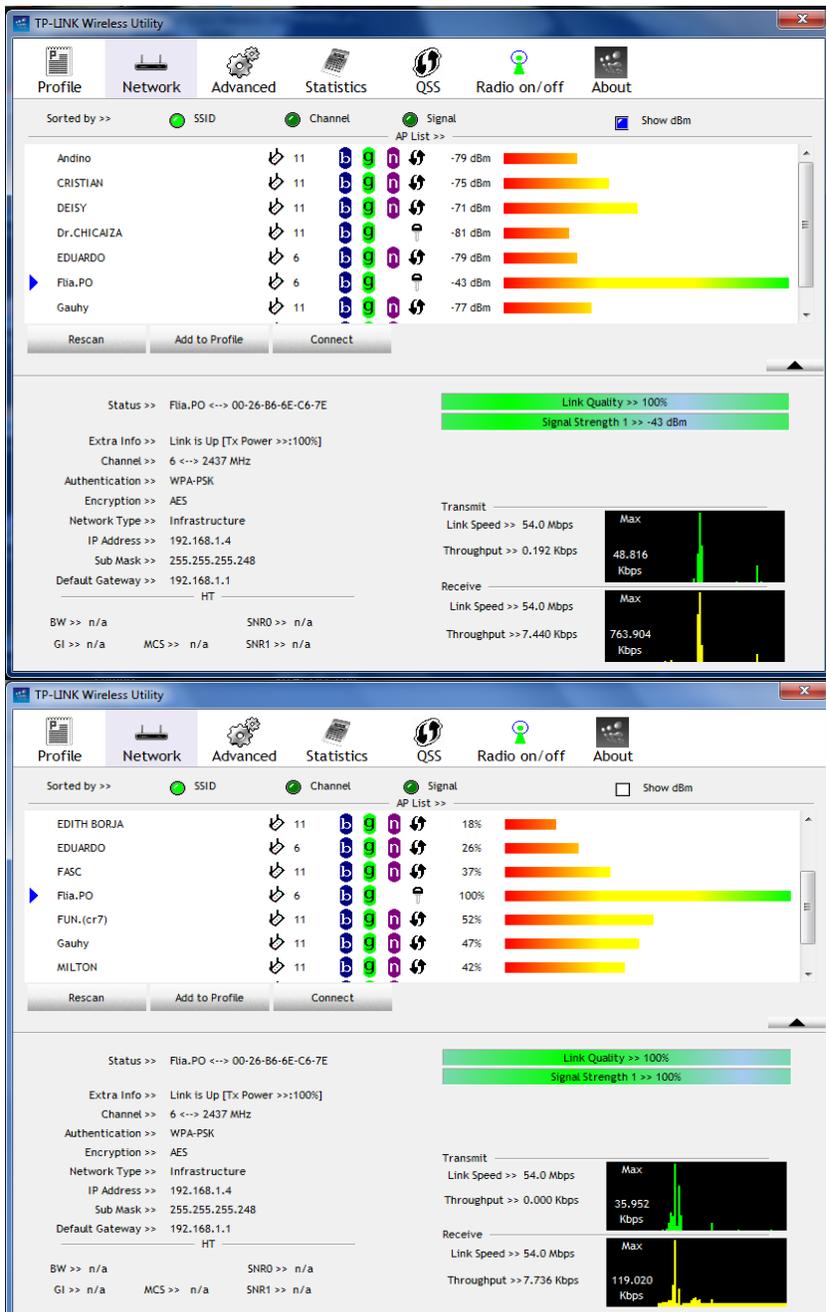


Figura 67 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 7

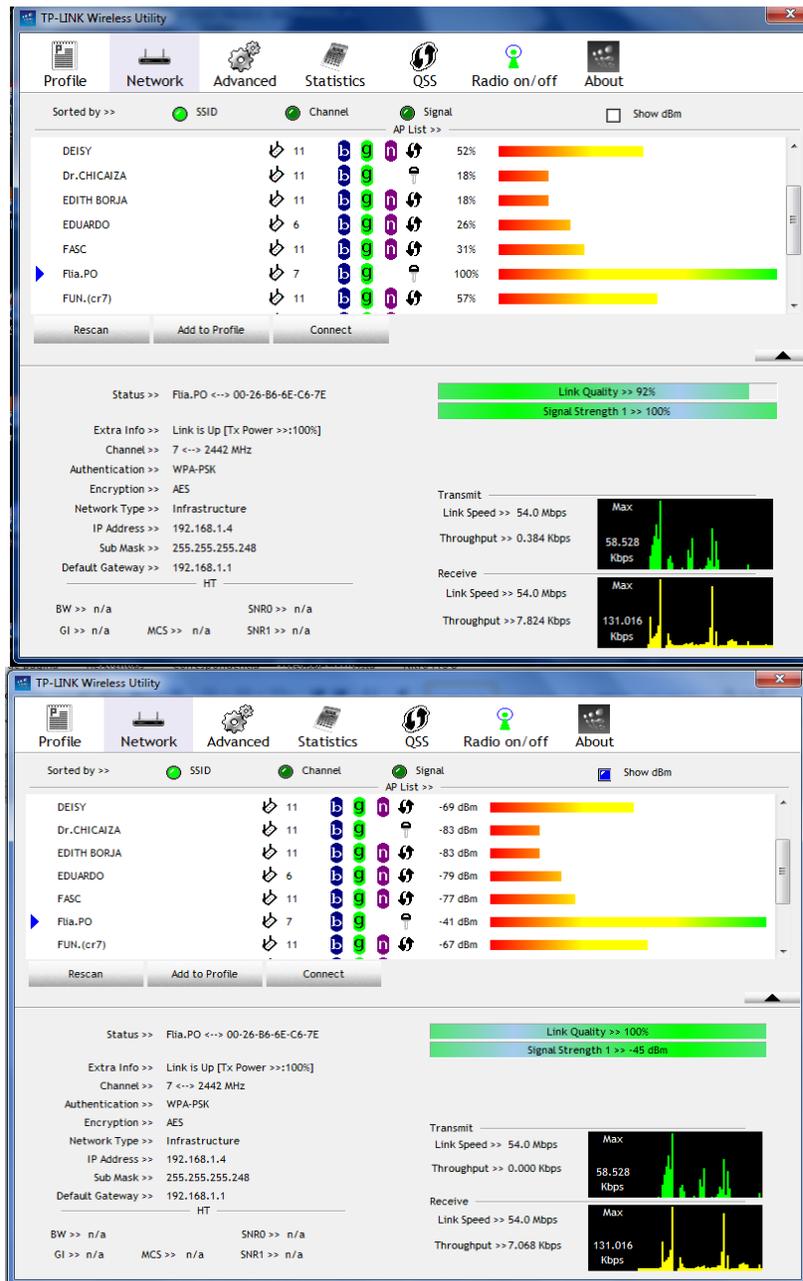


Figura 68 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 9

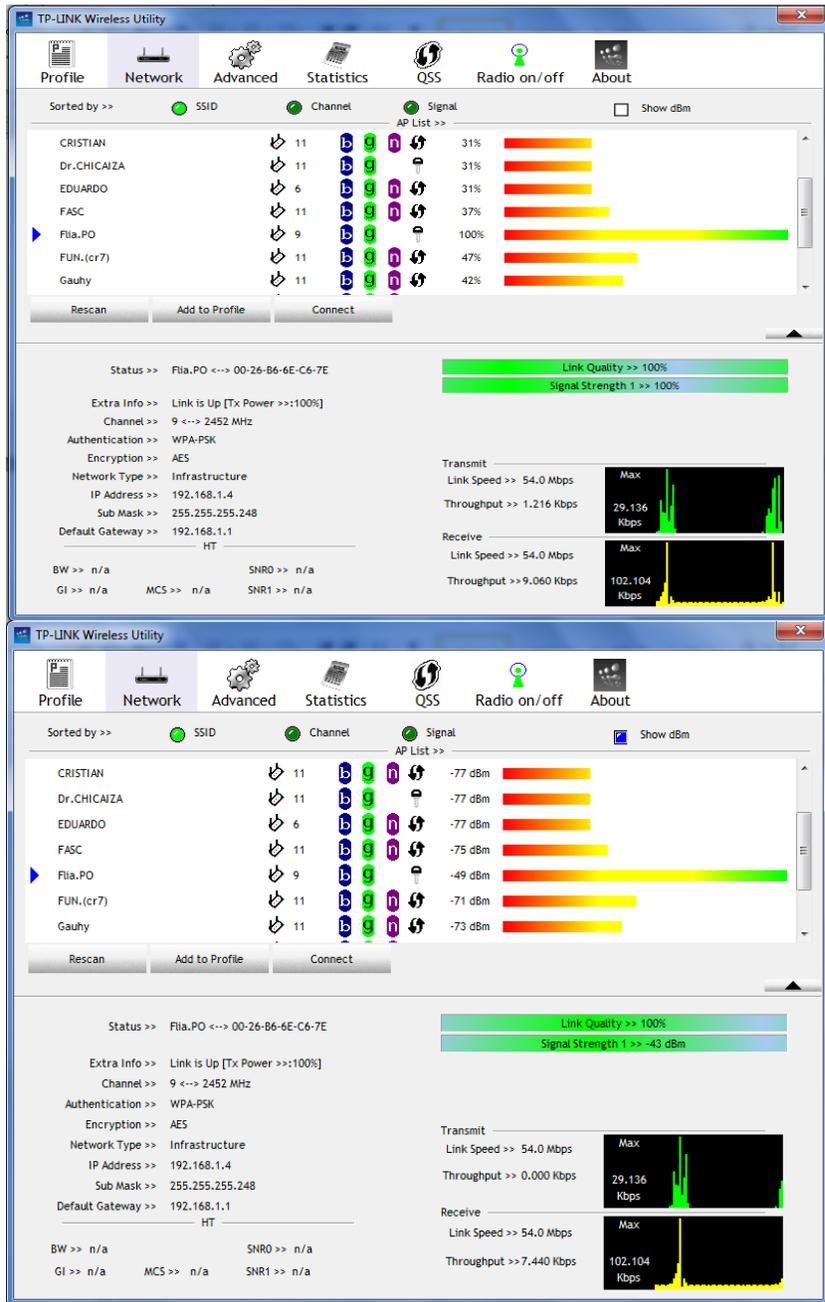


Figura 69 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 10

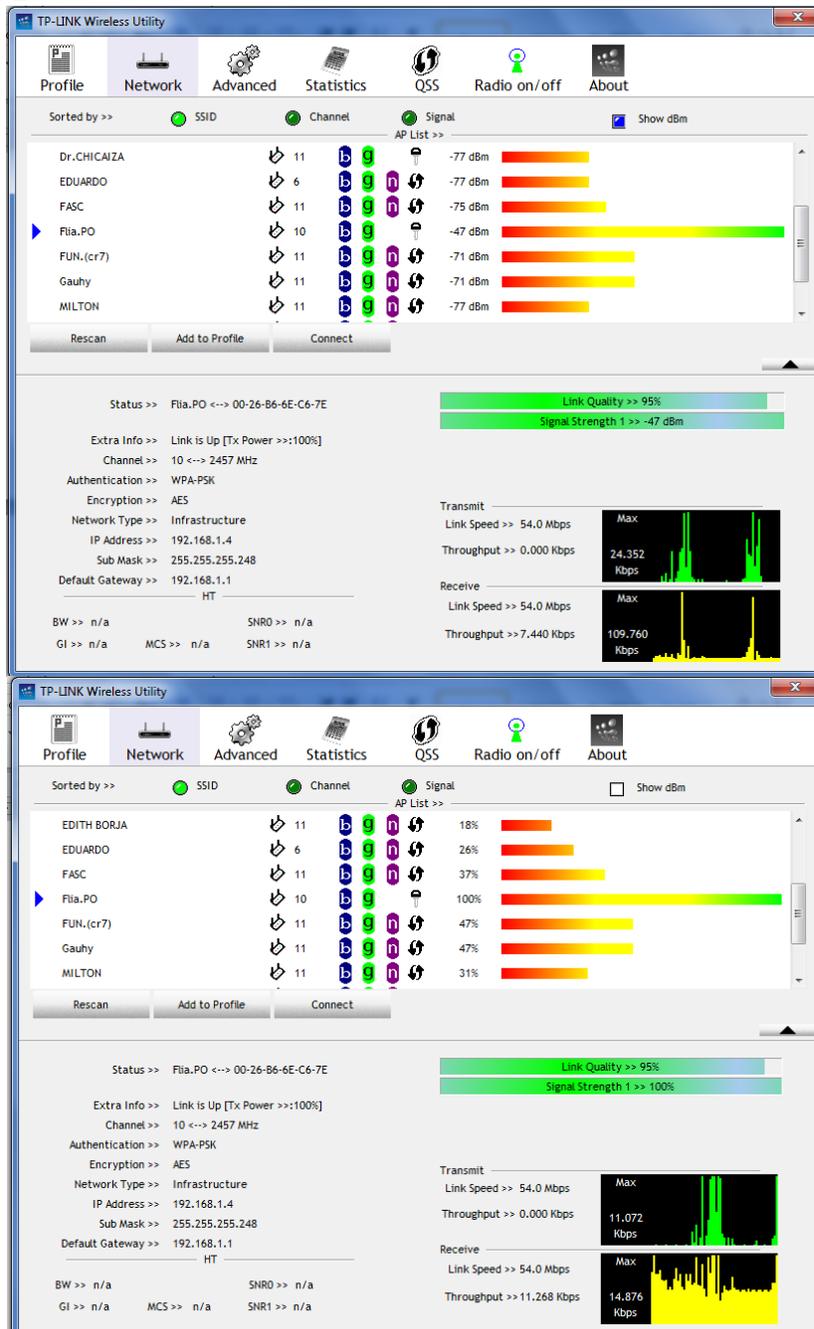


Figura 70 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 11

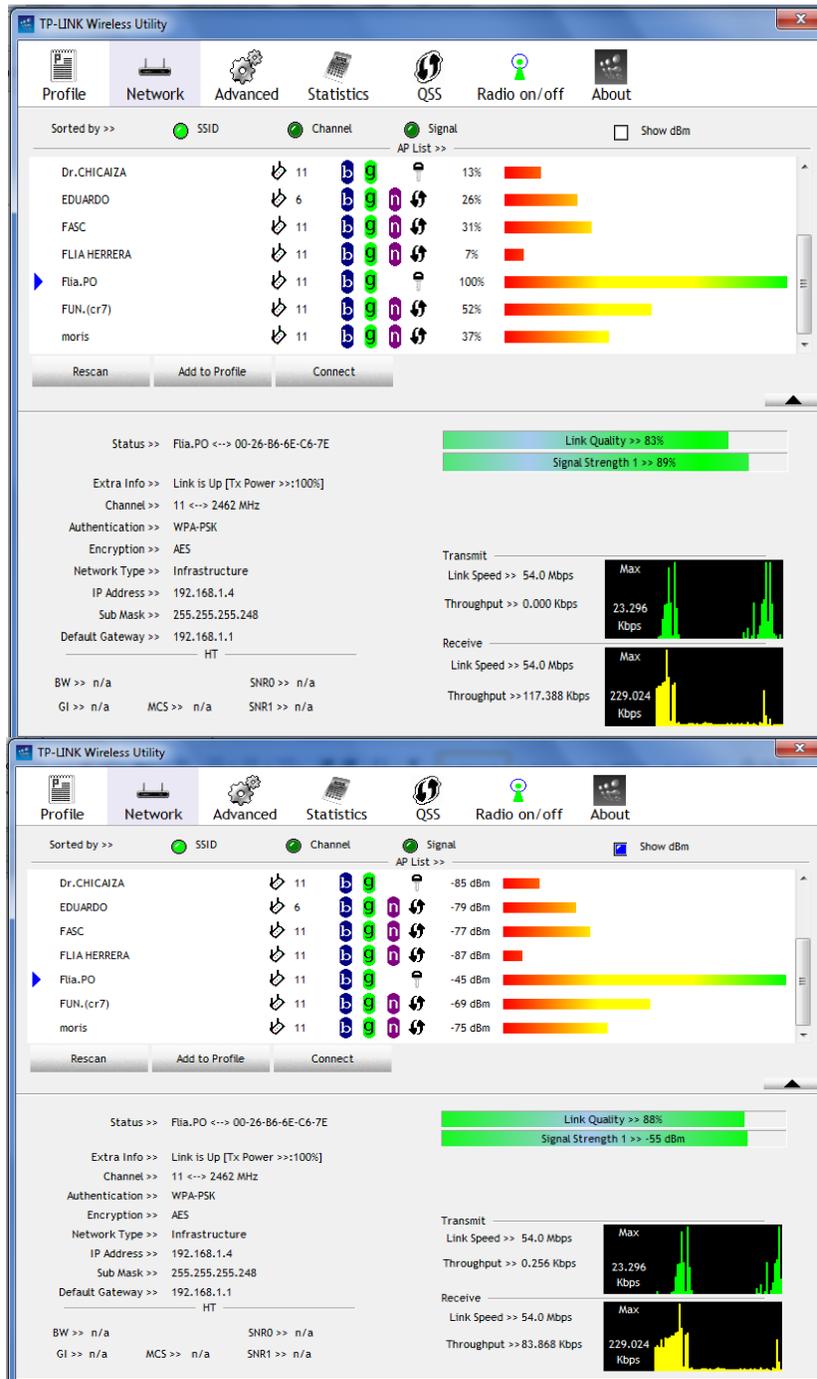


Figura 71 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 12

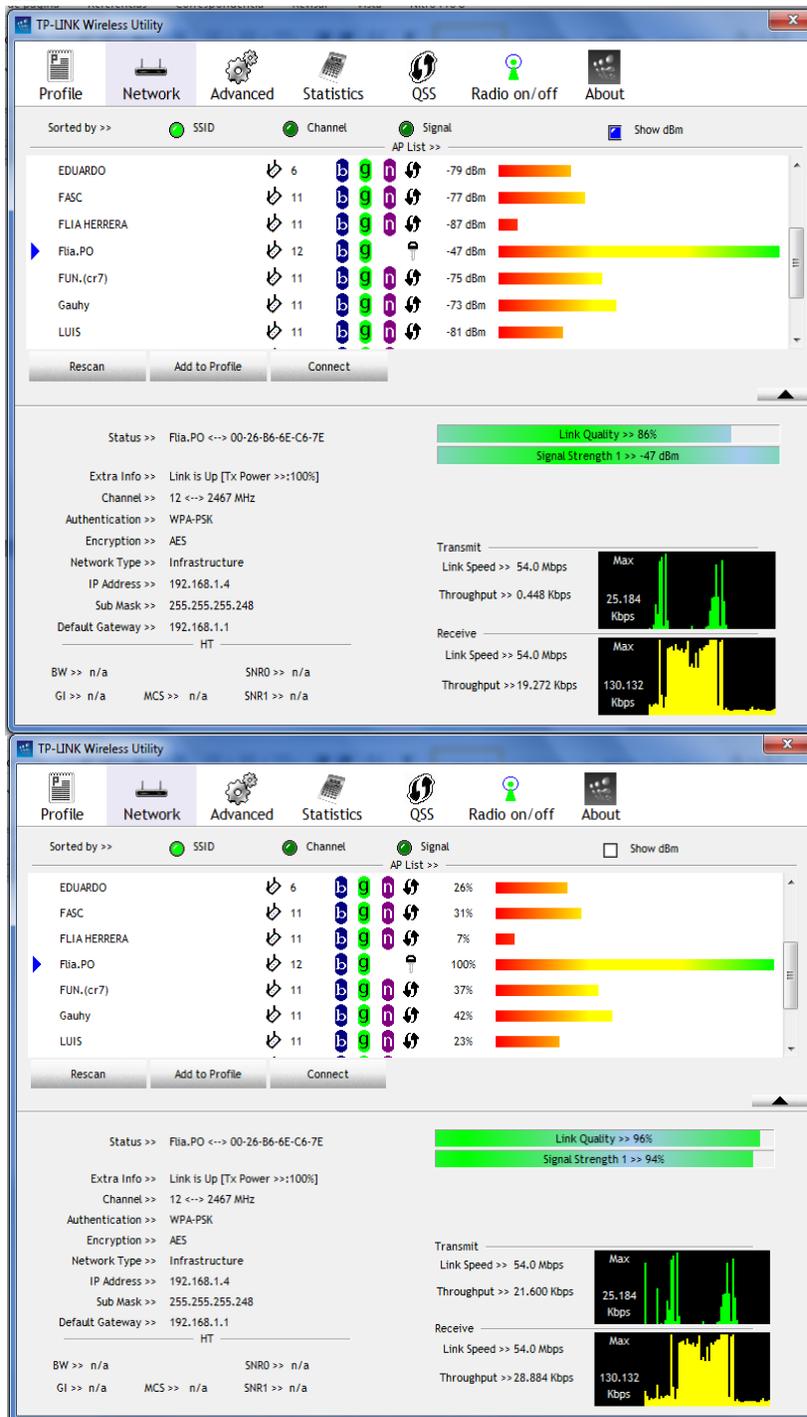


Figura 72 Canal y porcentaje de potencia

CANAL 13

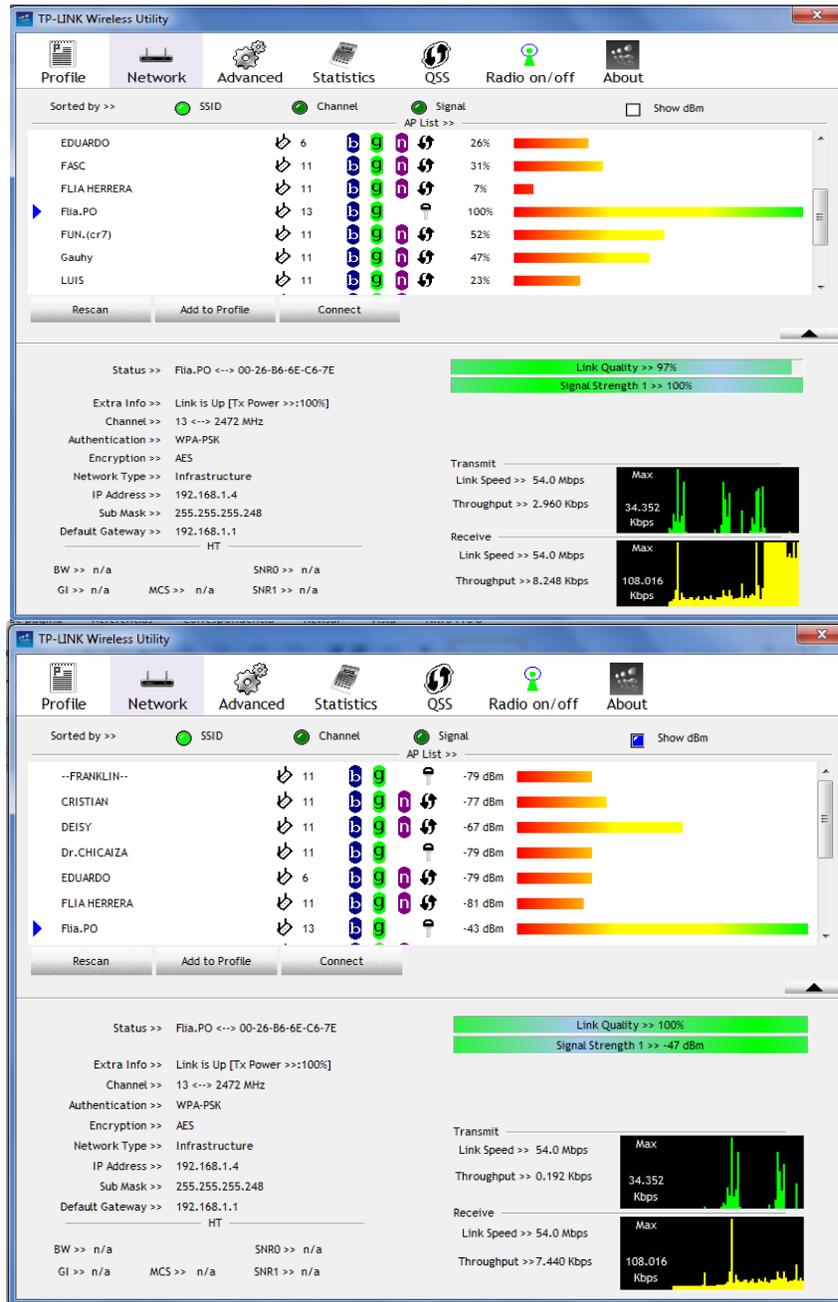


Figura 73 Canal y porcentaje de potencia

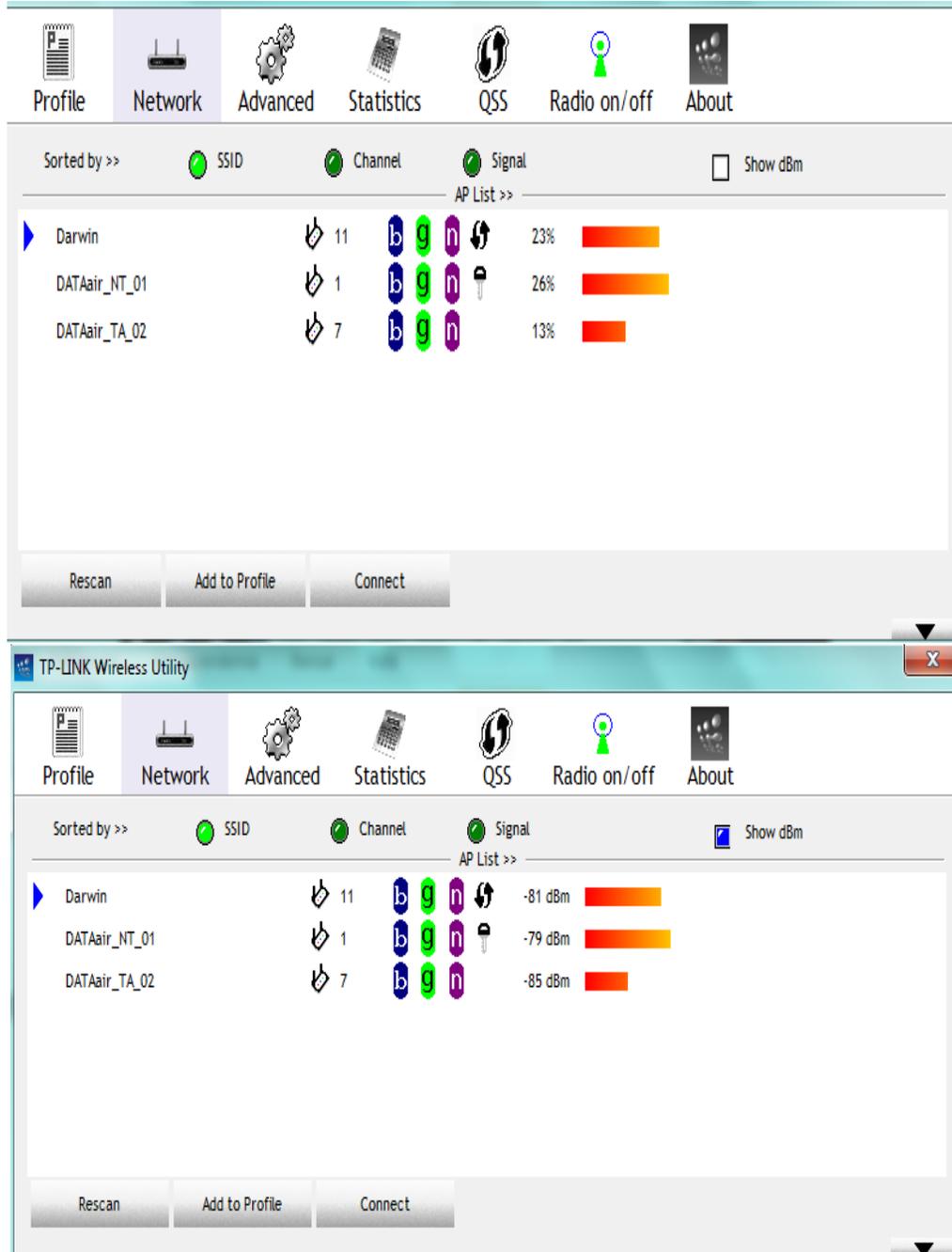
ANEXO 3

¹⁰⁷PRUEBAS DE LA ANTENA EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA Y SU
POTENCIA

¹⁰⁷ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba

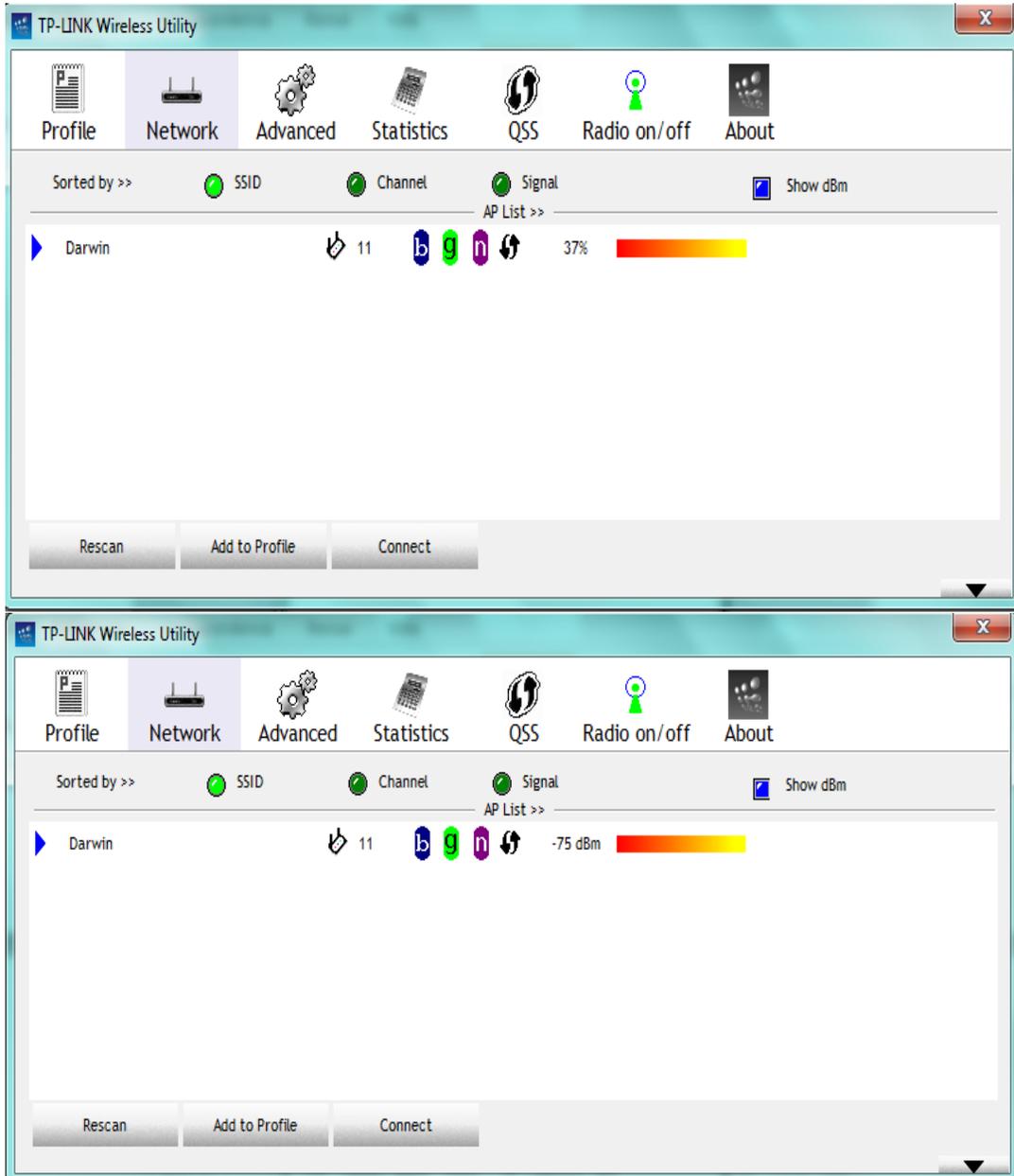
En las siguientes figuras se muestra el porcentaje de recepción de la antena y su respectiva potencia en función de una determinada distancia.

10 METROS



Prueba 2a una distancia de 10metros con su respectivo porcentaje y potencia

20 Metros



Prueba 2 a una distancia de 20 metros con su respectivo porcentaje y potencia

60 METROS

The image displays two screenshots of the TP-LINK Wireless Utility software interface, showing the results of a wireless network scan at a distance of 60 meters. The interface includes a menu bar with options: Profile, Network, Advanced, Statistics, QSS, Radio on/off, and About. Below the menu bar, there are sorting options: Sorted by >> SSID, Channel, and Signal, along with a checkbox for Show dBm. The main area displays a list of detected wireless networks (AP List) with columns for SSID, Channel, Signal strength (dBm), and a color-coded signal strength indicator.

Top Screenshot:

SSID	Channel	Signal (dBm)
Darwin	11	-83 dBm
DATAair_TA_02	7	-73 dBm

Bottom Screenshot:

SSID	Channel	Signal (dBm)
Darwin	11	-85 dBm
DATAair_NT_01	1	-81 dBm
DATAair_TA_02	7	-73 dBm
supercondor	8	-85 dBm

Prueba 3 a una distancia de 60metros con su respectivo porcentaje y potencia

80 METROS

The image displays two screenshots of the TP-LINK Wireless Utility software interface, showing the results of a wireless network scan at a distance of 80 meters. The interface includes a menu bar with options: Profile, Network, Advanced, Statistics, QSS, Radio on/off, and About. The main area shows a list of detected wireless networks, sorted by SSID, Channel, and Signal strength. The 'Show dBm' checkbox is checked.

Top Screenshot: Shows a scan of four wireless networks. The signal strength is measured in dBm.

SSID	Channel	Signal (dBm)
Darwin	11	-85 dBm
DATAair_NT_01	1	-81 dBm
DATAair_TA_02	7	-73 dBm
supercondor	8	-85 dBm

Bottom Screenshot: Shows a scan of two wireless networks. The signal strength is measured in percentage.

SSID	Channel	Signal (%)
Darwin	11	18%
DATAair_TA_02	7	42%

Prueba 4 a una distancia de 80metros con su respectivo porcentaje y potencia

250 METROS

The image displays two screenshots of the TP-LINK Wireless Utility software interface, showing network statistics and connection details for a mesh network at a distance of 250 meters.

Top Screenshot (Link Quality 68%, Signal Strength 57%):

SSID	Channel	Signal
ESPOCH	1	42%
JOSE	1	37%
ESPOCH-WIFI	3	42%
WirelessAvarez.NET	4	31%
JFRJ	6	42%

Connection Details (Top Screenshot):

- Status: ESP., <-> 00-24-F7-AF-1F-00 [172.30.123.11] - (MESH-ROOT-DESIT)
- Extra Info: Link is Up [Tx Power >>:100%]
- Channel: 1 <-> 2412 MHz
- Authentication: Open
- Encryption: NONE
- Network Type: Infrastructure
- IP Address: 172.30.134.116
- Sub Mask: 255.255.252.0
- Default Gateway: 172.30.132.1

Performance Metrics (Top Screenshot):

- Link Quality: 68%
- Signal Strength 1: 57%
- Transmit Link Speed: 18.0 Mbps
- Throughput: 0.848 Kbps
- Receive Link Speed: 12.0 Mbps
- Throughput: 114.168 Kbps

Bottom Screenshot (Link Quality 67%, Signal Strength -71 dBm):

SSID	Channel	Signal
ESPOCH	1	-73 dBm
JOSE	1	-75 dBm
ESPOCH-WIFI	3	-73 dBm
WirelessAvarez.NET	4	-77 dBm
JFRJ	6	-85 dBm

Connection Details (Bottom Screenshot):

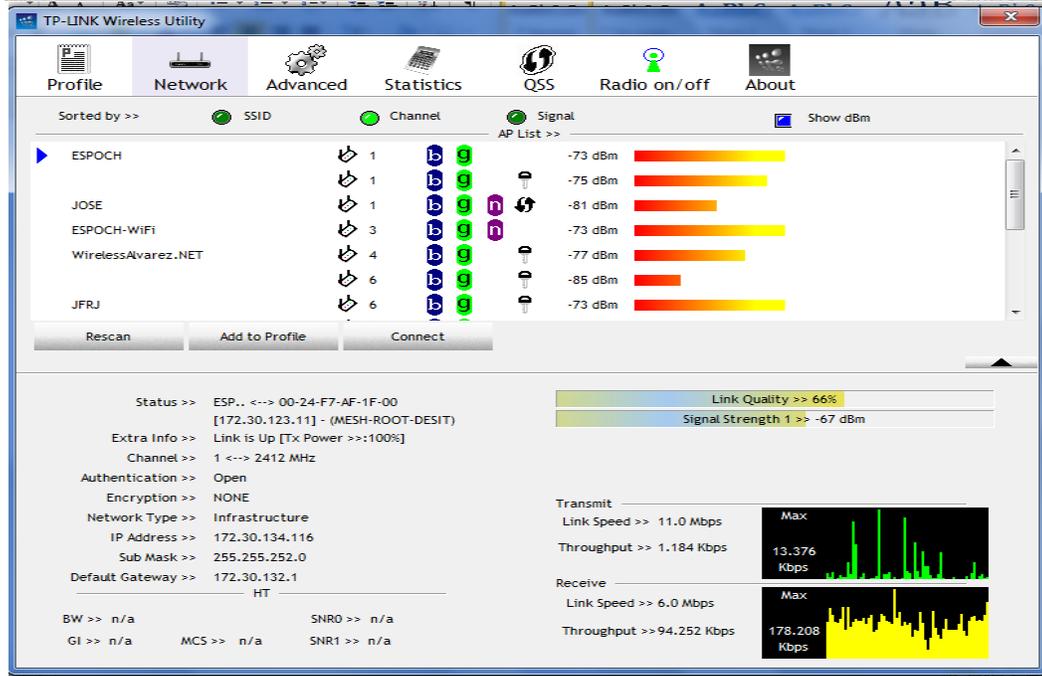
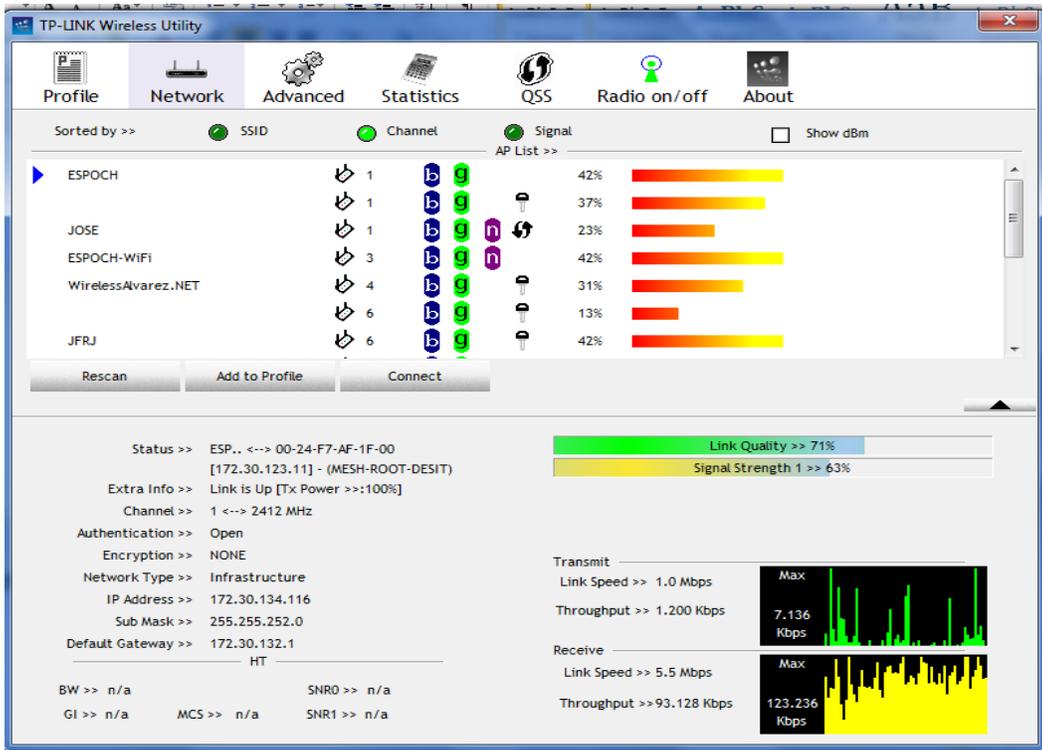
- Status: ESP., <-> 00-24-F7-AF-1F-00 [172.30.123.11] - (MESH-ROOT-DESIT)
- Extra Info: Link is Up [Tx Power >>:100%]
- Channel: 1 <-> 2412 MHz
- Authentication: Open
- Encryption: NONE
- Network Type: Infrastructure
- IP Address: 172.30.134.116
- Sub Mask: 255.255.252.0
- Default Gateway: 172.30.132.1

Performance Metrics (Bottom Screenshot):

- Link Quality: 67%
- Signal Strength 1: -71 dBm
- Transmit Link Speed: 11.0 Mbps
- Throughput: 1.024 Kbps
- Receive Link Speed: 6.0 Mbps
- Throughput: 107.576 Kbps

Prueba 5 a una distancia de 250 metros con su respectivo porcentaje y potencia

300 METROS



Prueba 6 a una distancia de 300 metros con su respectivo porcentaje y potencia

ANEXO 4

¹⁰⁸ **ANALISIS DE PAQUETES MEDIANTE UN SOFTWARE DE TRAFICO DE RED**

¹⁰⁸ **FUENTE:** José Vinicio Olivarez Yachimba

Con este tipo de software vamos a observar los paquetes que se están enviando, y el tipo de protocolo que se están ejecutando.

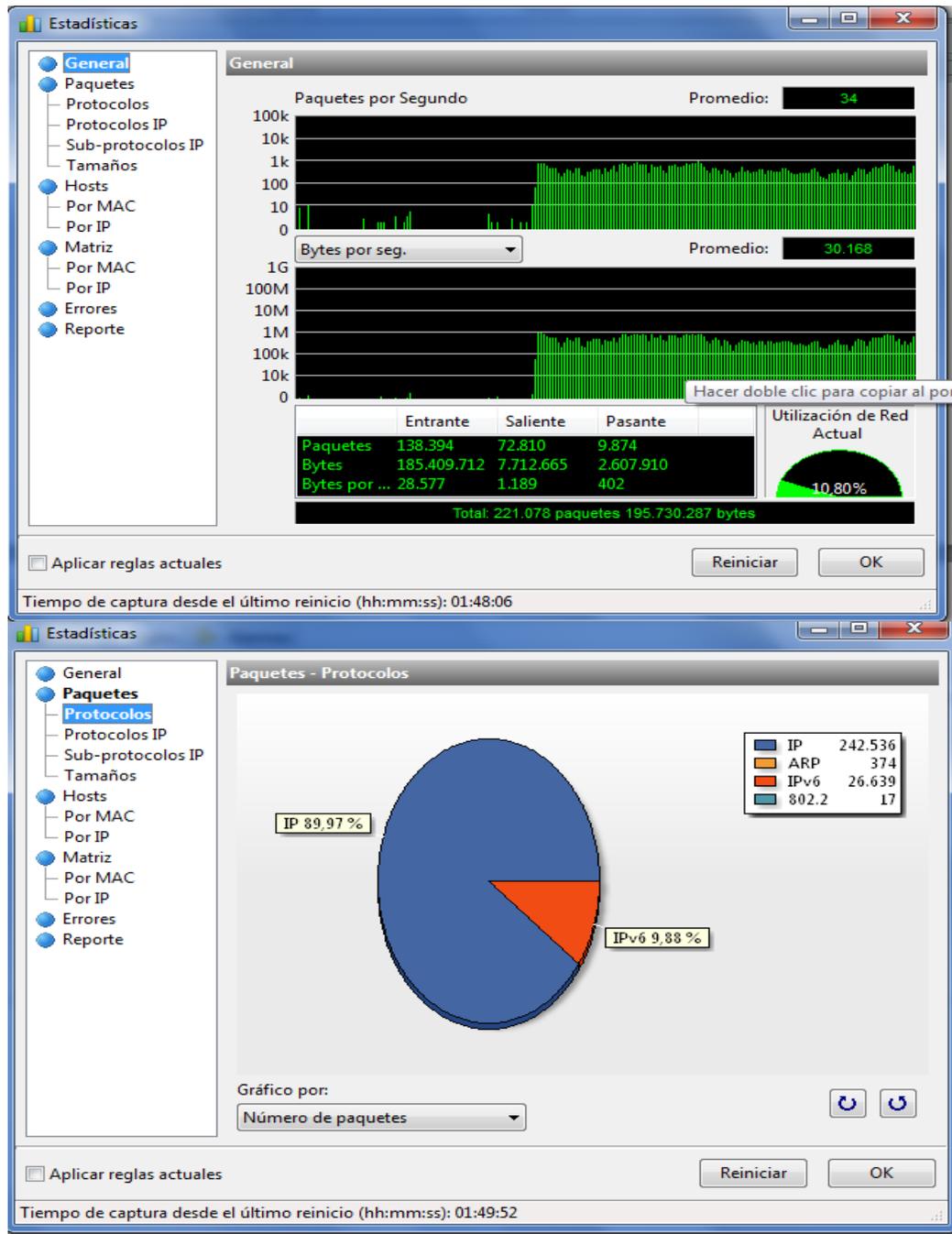


Figura 74 Porcentaje de Paquetes Transmitidos

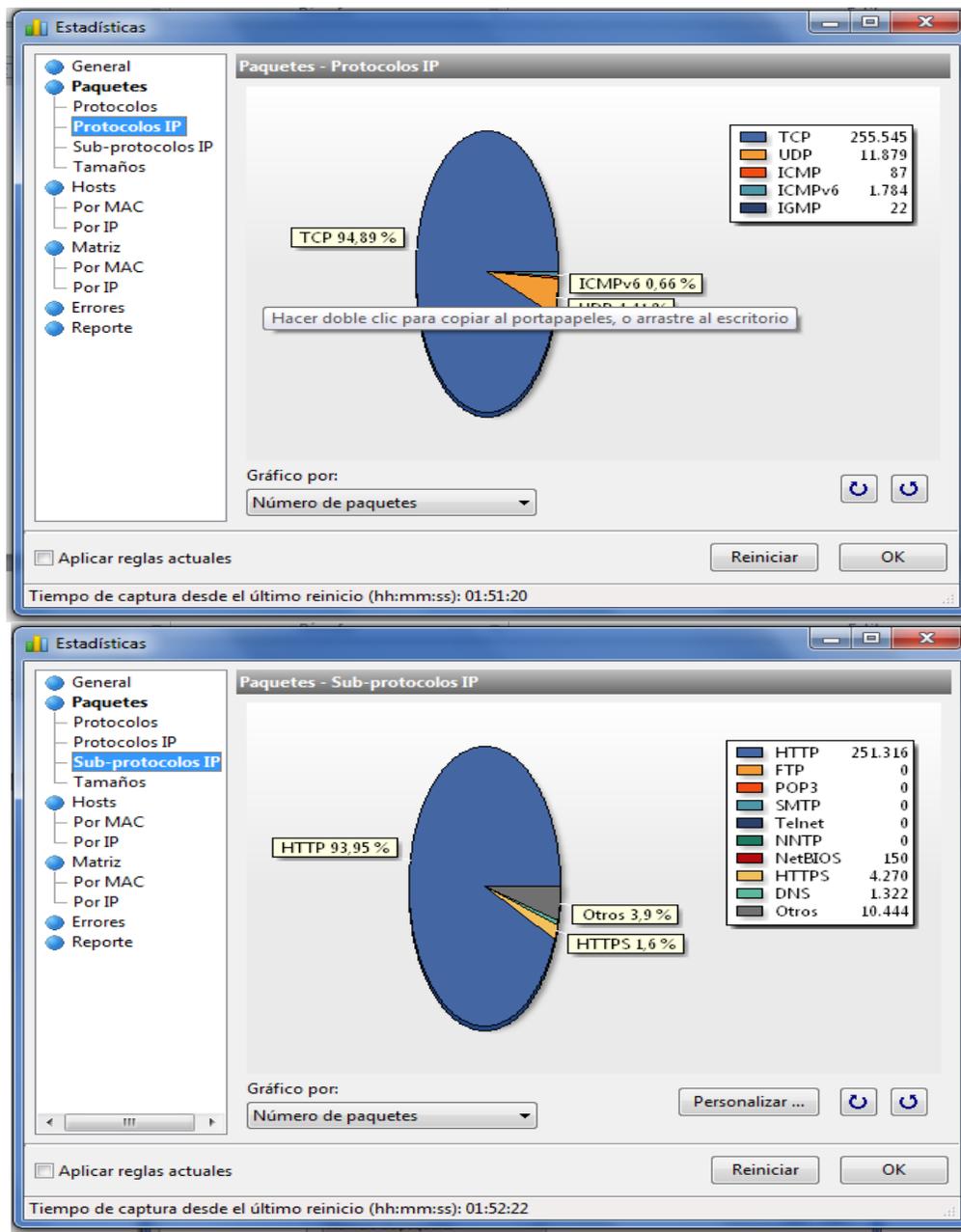
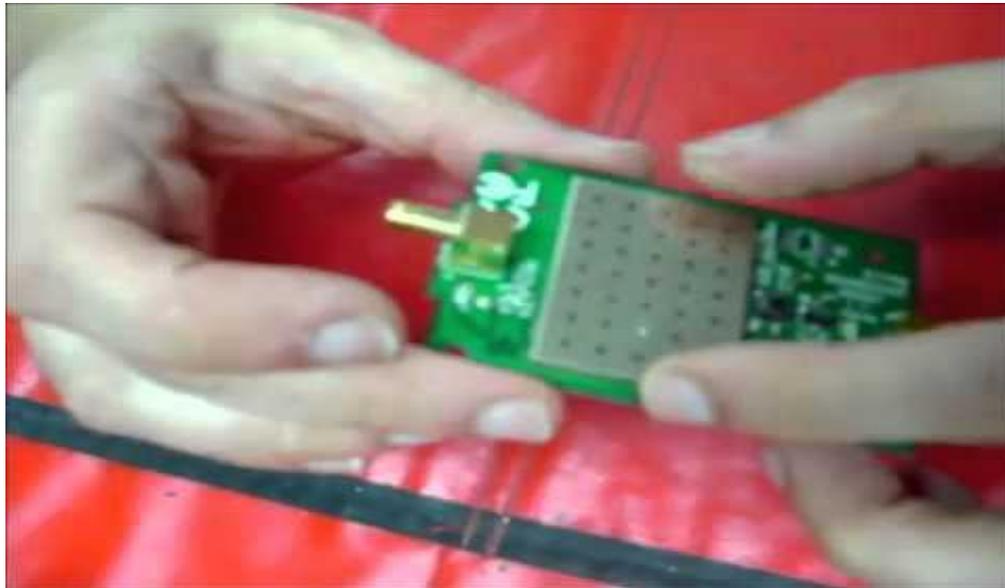


Figura 75 Tipos de protocolos

ANEXO 5

¹⁰⁹ESPECIFICACIONES TP-LINK TL-WN7200ND

¹⁰⁹ FUENTE: José Vinicio Olivarez Yachimba



CARACTERÍSTICAS DEL HARDWARE	
Interface	Mini USB
Botón	Botón QSS / Software
Dimensiones (Largo x Ancho x Alto)	3.6 x 2.4 x 1.0 in. (90.8 x 60.8 x 24.5mm)
Tipo de Antena	antena desmontable, Omnidireccional
Rendimiento de la Antena	5dBi
CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS	
Estándares Inalámbricos	IEEE 802.11n, IEEE 802.11g, IEEE 802.11b
Frecuencia	2.400-2.4835GHz
Velocidad de Señal	11n: Hasta 150Mbps (dinámico) 11g: hasta 54Mbps (dinámico) 11b: hasta 11Mbps (dinámico)
EIRP	<20dBm (EIRP, los países con normas CE) <27dBm (EIRP, los países con normas de la FCC)
Sensibilidad de Recepción	130M:-68dBm @ 10% PER 108M:-68dBm @ 10% PER 54M:-68dBm @ 10% PER 11M:-85dBm @ 8% PER 6M:-88dBm @ 10% PER 1M:-90dBm @ 8% PER

CARACTERÍSTICAS INALÁMBRICAS	
Modos Inalámbricos	Modo Ad-Hoc/infraestructura
Seguridad Inalámbrica	Compatible con 64/128 bit WEP, WPA-PSK/WPA2-PSK
Tecnología de Modulación	DBPSK, DQPSK, CCK, OFDM, 16-QAM, 64-QAM
Funciones de Servicio	WMM, Soft AP (para Windows XP / Vista), PSP X-LINK (sólo para Windows XP), Roaming
OTROS	
Certificación	CE, FCC, RoHS
Contenido del Paquete	<p>Adaptador Inalámbrico TL-WN7200ND</p> <p>5dBi desmontable antena omnidireccional</p> <p>CD de recursos</p> <p>Guía de instalación rápida</p> <p>1,5 m cable de extensión USB</p>
Requisitos del Sistema	Windows 7(32/64bits), Windows Vista(32/64bits), Windows XP(32/64bits), Windows 2000
Ambiente	<p>Temperatura de funcionamiento: 0°C ~ 40°C (32°F ~ 104°F)</p> <p>Temperatura de almacenamiento: -40°C ~ 70°C (-40°F ~ 158°F)</p> <p>Humedad de funcionamiento: 10% ~ 90% sin condensación</p> <p>Humedad de almacenamiento: 5% ~ 90% sin condensación</p>

Figura 76 TP LINK TL WN 7200

DEFINICION DE TÉRMINOS

- TCP (Transmission Control Protocol). Protocolo de Control de Transmisión.
- UDP (User Datagram Protocol). Protocolo de Datagramas a nivel de Usuario.
- IP (Internet Protocol). Protocolo de Internet.
- ICMP (Internet Control Message Protocol). Protocolo de Control de Mensajes de Internet.
- RIP (Routing Information Protocol). Protocolo de Información de Rutas. Inversa de Direcciones.
- BOOTP (Boot Protocol). Protocolo de Arranque
- FTP (File Transfer Protocol), el Protocolo de Transferencia de Ficheros
- TELNET permite accesos remotos.
- EGP (Exterior Gateway Protocol). Protocolo de Pasarela Externo.
- GGP (Gateway-to-Gateway Protocol). Protocolo de Pasarela a pasarela.
- IGP (Interior Gateway Protocol). Protocolo de Pasarela Interno.
- NFS (Network File System). Sistema de Ficheros de Red.
- NIS (Network Information Service). Servicio de Información de Red.
- RPC (Remote Procedure Call). Llamada de Procedimiento Remota.
- SMTP (Simple Mail Transfer Protocol). Protocolo Simple de Transferencia de Correo.
- SNMP (Simple Network Management Protocol). Protocol Simple de Gestión de Redes.