

**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE INGENIERÍA**

**“DESARROLLO DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO  
PARA LAS MATERIAS DE ANTENAS Y SISTEMAS RF”**

**RAFAEL ALEJANDRO ARTEAGA LARA**

**SANGOLQUÍ – ECUADOR**

**2012**

## **CERTIFICACIÓN**

Por medio de la presente certificamos que el proyecto de grado, titulado “Desarrollo De Prácticas De Laboratorio Para Las Materias De Antenas Y Sistemas RF”, fue desarrollado en su totalidad y bajo nuestra dirección y supervisión por el señor: “Rafael Alejandro Arteaga Lara con cédula de identidad 1715758643”.

Atentamente,

-----  
Ing. Jorge Álvarez.

**DIRECTOR**

-----  
Ing. Patricio Vizcaino

**CODIRECTOR**

*Autorización de publicación*

## **ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

### **INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

#### **AUTORIZACIÓN**

Yo, Rafael Alejandro Arteaga Lara

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Desarrollo de Prácticas de Laboratorio para las Materias de Antenas y Sistemas de RF”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría

Sangolquí, 27 de Abril de 2012

---

Rafael Alejandro Arteaga Lara

## RESUMEN

En la actualidad es muy importante tener un conocimiento tanto teórico como práctico de las materias que son impartidas, por tal motivo se realiza en la universidad todas las gestiones para adquirir nuevos equipos y de este modo los estudiantes tengan acceso a tecnología de punta, sin embargo muchas veces no son bien aprovechados y muchas de las materias que deberían tener un aprendizaje práctico no se lo hace así. Por este motivo se ve la necesidad de crear diferentes prácticas tanto para las materias de Antenas como para Sistemas de R.F. y se aprovechen los nuevos instrumentos y los alumnos tengan una educación lo más fructífera posible.

Primero se procede a analizar entre todos los elementos que se tiene en laboratorios cuales serían los mejores para llevar a cabo estas prácticas, para esto veremos las características de cada uno de estos y sacaremos los que más ventajas nos ofrezcan para utilizar la menos cantidad de equipo.

Una vez seleccionados los equipos a usar se procederá a diseñar e implementar antenas Yagui-Uda para realizar pruebas y saber cómo funcionan, su correcto manejo y así ver que funciones son las mejores o las que más utilidad tienen para que el alumno este más preparado para la vida profesional.

Las antenas Yagui-Uda se las elige debido que en la actualidad en el país está en boga el pasar de televisión analógica a televisión digital y para ello se están realizando un sinnúmero de pruebas y estas antenas que se diseñarán contribuirán a estas por lo cual se debe ver las mejores características y que además sean de fácil instalación y movilidad.

Realizadas todas las pruebas se procederá a la elaboración de las prácticas de laboratorio donde se verá las mejores alternativas según las características que se obtuvieron de los instrumentos.

## **DEDICATORIA**

A Dios por iluminar y guiar cada paso en mi vida y ser el apoyo espiritual en cada momento de flaqueza.

Para mis padres por todo su apoyo, su amor, su ejemplo que me han dado y por siempre estar ahí dándome ese empujón para siempre seguir adelante, por ser siempre una guía y una inspiración.

Para mis hermanas que de una u otra manera me ayudaron con ánimos, regaños y a mi hermosa sobrinita que aunque apenas es un bebé me llena de alegría y amor.

Y para mis amigos de toda la vida con los cuales crecí y son como mis hermanos, con quienes he pasado muchos momentos y compartido consejos.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por su infinito amor y esperanza, por darme cada día la oportunidad de ser mejor y demostrar quién soy.

A mis padres Rafael y Amelia por ser el apoyo incondicional y quienes me dan siempre ese empujón para seguir y no estancarme, por ser mi inspiración.

A mis hermanas por ser mis confidentes y siempre estar presentes, a mi sobrinita por ser mi angelita que con solo su presencia me alegra infinitamente.

A mis profesores, que con su conocimiento supieron mostrar cada asignatura para enriquecer esa sed de saber más cosas.

A mis compañeros y amigos de universidad con los cuales pasamos geniales momentos y uno muy especial a Ricardo Espín que ahora está en un mejor lugar y fue quién siempre tenía una sonrisa y una voz de apoyo en todo momento.

## PRÓLOGO

Es de suma importancia llevar de manera práctica todo lo aprendido en clase debido que en el desempeño profesional existen factores que hacen variar los resultados y hay que ver como estos afectan nuestros resultados referente a los valores teóricos y hacerlo en conjunto con un profesor guía y un instrumento ayuda da la ventaja de adquirir una experiencia muy importante.

Se realizará primero un estudio de los equipos para saber todas las características que este tienen y poder ver los más indicados para realizar las prácticas. Luego se procederá al diseño de 2 antenas las cuales se implementarán para realizar pruebas usando el equipo para probar su funcionamiento. También se llevaran a cabo pruebas con antenas adquiridas ya fabricadas, las cuales pueden ser las que se encuentran en los laboratorios de electrónica, y así verificar las especificaciones de estas mediante la toma de datos usando el analizador.

Teniendo conocimiento de los datos que podemos obtener se realizarán las prácticas de laboratorio con la finalidad que estas vayan de la mano con el programa analítico de las materias.

Este proyecto será desarrollado con un estudio de los instrumentos más adecuados y así conocer todas las características que podremos usar en nuestro planteamiento de prácticas de laboratorio para las materias de Antenas y Sistemas de RF. Para revisar estas características diseñaremos e implementaremos 2 tipos de antenas, las cuales serán analizadas por el instrumento, y se compararán las especificaciones del fabricante de antenas adquiridas ya fabricadas con los que se obtengan usando el equipo. Teniendo la información que podemos utilizar se empleará para desarrollar las prácticas conforme el plan analítico lo muestre.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. ....	1
ANÁLISIS DE EQUIPOS DE MEDICIÓN .....	1
1.1 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE EQUIPOS .....	1
1.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO MÁS ADECUADO PARA LAS PRÁCTICAS.....	1
1.3 INFORMACIÓN GENERAL DEL EQUIPO.....	3
1.4 IMÁGENES DEL EQUIPO Y SUS ACCESORIOS.....	6
1.5 USO DE FUNCIONES BÁSICAS.....	10
CAPÍTULO 2. ....	27
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE 2 ANTENAS.....	27
2.1. INTRODUCCIÓN .....	27
2.2. DISEÑO DE LAS ANTENAS.....	35
2.2.1. Consideraciones para Antena N°1.....	35
2.2.3. Implementación Antena N°1 .....	55
2.2.4. Consideraciones para Antena N°2.....	66
2.2.5. Cálculos para Antena N°2 .....	67
2.2.6. Implementación Antena N°2.....	74
CAPÍTULO 3. ....	77
PRUEBAS CON ANTENAS.....	77
3.1. CONSIDERACIONES DE PARÁMETROS A MEDIR.....	77
3.2. MEDICIONES CON ANTENA IMPLEMENTADA N°1 .....	79
3.3. MEDICIONES CON ANTENA IMPLEMENTADA N°2 .....	96
3.4. MEDICIONES CON ANTENAS ADQUIRIDAS YA FABRICADAS .....	110
CAPÍTULO 4. ....	129
ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ANTENAS Y RF .....	129
4.1. INTRODUCCIÓN .....	129
4.2. PRÁCTICA N°1.- “DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UN SET DE ANTENAS” .....	129
4.3. PRÁCTICA N°2:- “DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SET DE ANTENAS” .....	138
4.4. PRÁCTICA N°3:- “MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE RESONANCIA DE CIRCUITOS DE RF, RLC” .....	147
4.5. PRÁCTICA N°4.- “ANCHO DE BANDA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN” .	159
CONCLUSIONES .....	174



RECOMENDACIONES .....	176
ANEXO I .....	177
HOJA TÉCNICA ANRITSU S362E .....	177
ANEXO II .....	178
PRÁCTICAS DE LABORATORIO .....	178
PRÁCTICA N°1.....	179
PRÁCTICA N°2.....	184
PRÁCTICA N°3.....	187
PRÁCTICA N°4.....	193
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	203

# ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO 1

Tabla 1. 1 Características Anritsu S362E [1].....	2
Tabla 1. 2 Características Anritsu MS2036A [2].....	3
Tabla 1. 3 Opciones Site Master S362E [3].....	4

## CAPÍTULO 2

Tabla 2. 1 Diferencias entre la operación de arreglos Yagi resonantes, alimentados con dipolos sencillos o doblados [4].....	36
Tabla 2. 2 Número de elementos en función relación frente-espalda y eficiencia.....	39
Tabla 2. 3 Número de directores en función del ancho del haz .....	39
Tabla 2. 4 Cálculo de longitudes según el número de directores .....	41
Tabla 2. 5 Resultados obtenidos mediante cálculos analíticos y software .....	55
Tabla 2. 6 Tipos de cables coaxiales .....	57
Tabla 2. 7 Características eléctricas del conector SMA.....	64
Tabla 2. 8 Resultados obtenidos mediante cálculos analíticos y software .....	74

## CAPÍTULO 3

Tabla 3. 1 Puntos de referencia para Patrón de Radiación Antena 1 .....	92
Tabla 3. 2 Puntos de referencia para Patrón de Radiación Antena 2 .....	107

## CAPÍTULO 4

Tabla 4. 1 Medidas de patrón de radiación antena.....	135
Tabla 4. 2 Mediciones de referencia de potencia del circuito 1 .....	150
Tabla 4. 3 Mediciones circuito 1 tapado (PoT) y sin tapa (PoST) capacitancia 0.5nF .....	151
Tabla 4. 4 Mediciones circuito 1 con capacitancia 0.33nF .....	154
Tabla 4. 5 Mediciones circuito 2 RLC .....	158
Tabla 4. 6 Mediciones Circuito de Línea de transmisión en cortocircuito.....	162
Tabla 4. 7 Mediciones circuito línea de transmisión circuito abierto.....	164
Tabla 4. 8 Mediciones de línea de transmisión con Stub en cortocircuito.....	170
Tabla 4. 9 Mediciones circuito línea de transmisión con Stub en circuito abierto.....	172

# ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1

Figura 1. 3 Sensor de alta precisión Anritsu PSN50 .....	6
Figura 1. 2 Anritsu 22N50 (Abierto-Cerrado).....	6
Figura 1. 1 Analizador Anritsu S362E .....	6
Figura 1. 4 Parte Anritsu SM/PL-1 Terminación (Carga).....	7
Figura 1. 5 Carga-Abierto-Corto.....	7
Figura 1. 6 Parte Anritsu OSLN50-1 (Abierto-Corto-Carga) .....	8
Figura 1. 7 Parte Anritsu 806-141-R Cargador de Auto .....	8
Figura 1. 8 Kit de adaptadores Multi –RF modelo 72934.....	9
Figura 1. 9 Cable para puerto de Prueba reforzado con armadura de agarre .....	9
Figura 1. 10 Kit de adaptadores universal modelo 5698.....	10
Figura 1. 11 Pantalla con iconos de modos de medición .....	10
Figura 1. 12 Pantalla de Menú con los iconos de Medida hábiles .....	11
Figura 1. 13 Líneas de Límite Simple .....	14
Figura 1. 14 DTF Aid.....	15
Figura 1. 15 Configuración de Calibración con OSL Cal .....	17
Figura 1. 16 Sobre Límite .....	22
Figura 1. 17 Tabla de Marcadores.....	24
Figura 1. 18 Menú de Medidas del Analizador de Espectros.....	25

## CAPÍTULO 2

Figura 2. 1 Monopolo Vertical.....	29
Figura 2. 2 Dipolo .....	30
Figura 2. 3 Yagi.....	30
Figura 2. 4 Parabólica .....	31
Figura 2. 5 Láser Infrarrojo .....	32
Figura 2. 6 Patch .....	32
Figura 2. 7 Helicoidal.....	33
Figura 2. 8 Microondas Terrestre.....	33
Figura 2. 9 Microondas Satelital .....	34
Figura 2. 10 Configuraciones de arreglos Yagi para el caso de 6 elementos: a) Alimentación con dipolo recto sencillo, b) Alimentación con dipolo doblado coplanar y con la línea de transmisión conectada del lado izquierdo, c) Alimentación con dipolo doblado coplanar.....	37
Figura 2. 11 Arreglo Yagi-Uda .....	37
Figura 2. 12 Ganancia en dB en función del número de elementos .....	38
Figura 2. 13 Pantalla inicial QY4 para selección modo de diseño.....	43
Figura 2. 14 Pantalla QY4 de opciones de menú de modo automático de diseño .....	43
Figura 2. 15 Pantalla QY4 de opciones para diseño automático de una antena Yagi .....	44

Figura 2. 16 Pantalla QY4 de ingreso de la frecuencia central de la antena Yagi a diseñar .....	44
Figura 2. 17 Pantalla QY4 de selección si todos los elementos tendrán el mismo diámetro .....	45
Figura 2. 18 Pantalla QY4 ingreso del número de directores de la antena.....	45
Figura 2. 19 Pantalla QY4 ingreso del diámetro de los elementos .....	46
Figura 2. 20 Pantalla QY4 primer diseño generado por el software .....	46
Figura 2. 21 Pantalla QY4 del menú de opciones del diseño.....	47
Figura 2. 22 Pantalla QY4 diferentes tipos de dipolo .....	47
Figura 2. 23 Pantalla QY4 ingreso de separación del dipolo doblado .....	48
Figura 2. 24 □ Separación a considerar en el dipolo doblado para ingresarlo en QY4 .....	48
Figura 2. 25 Pantalla QY4 con la separación del dipolo doblado .....	49
Figura 2. 26 Pantalla QY4 resultado de diseño al cambiar a dipolo doblado.....	49
Figura 2. 27 Pantalla QY4 optimización de diseño con dipolo doblado .....	50
Figura 2. 28 Pantalla QY4 optimización de la Ganancia/Frente-Espalda/Patrón de radiación...	50
Figura 2. 29 Pantalla QY4 valores de relación frente espalda para optimización.....	51
Figura 2. 30 Pantalla QY4 selección tipo de ancho de banda .....	52
Figura 2. 31 Pantalla QY4 con la primera optimización hecha.....	52
Figura 2. 32 Pantalla QY4 dimensiones del diseño final antena Yagi .....	53
Figura 2. 33 Patrón de Radiación antena diseñada.....	54
Figura 2. 34 Valores de respuesta de la antena diseñada según la frecuencia.....	54
Figura 2. 35 Estructura general cable coaxial .....	56
Figura 2. 36 Conectores RF.....	59
Figura 2. 37 Conectores SMA y RP-SMA .....	63
Figura 2. 38 Separaciones a considerar en el Dipolo doblado .....	65
Figura 2. 39 Conexión cable coaxial al dipolo doblado.....	66
Figura 2. 40 Pantalla QY4 ingreso de frecuencia central.....	69
Figura 2. 41 Pantalla QY4 selección de diámetro para el diseño.....	70
Figura 2. 42 Pantalla QY4 ingreso de número de directores.....	70
Figura 2. 43 Pantalla QY4 ingreso diámetro de los elementos .....	71
Figura 2. 44 Pantalla QY4 diseño inicial sin optimizar .....	71
Figura 2. 45 Pantalla QY4 optimizado con dipolo doblado .....	72
Figura 2. 46 Patrón de radiación teórico del diseño .....	73
Figura 2. 47 Valores de respuesta teóricos de la antena según la frecuencia .....	73
Figura 2. 48 Separaciones a considerar en el Dipolo doblado .....	75
Figura 2. 49 Conexión cable coaxial al dipolo doblado.....	76

### CAPÍTULO 3

Figura 3. 1 Medición VSWR polarización horizontal antena 683.5MHz .....	79
Figura 3. 2 Gráfica Pérdida de Retorno/VSWR vs. Frecuencia para cálculo de ancho de banda81	
Figura 3. 3 Medición Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 683.5MHz.....	81
Figura 3. 4 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 683.5MHz .....	83
Figura 3. 5 Medición DTF-VSWR polarización horizontal antena 683.5MHz .....	84
Figura 3. 6 Medición Carta de Smith polarización horizontal antena 683.5MHz.....	85
Figura 3. 7 Medición VSWR polarización vertical antena 683.5MHz .....	85

Figura 3. 8 Medición Pérdida de Retorno polarización vertical antena 683.5MHz .....	87
Figura 3. 9 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización vertical antena 683.5MHz .....	88
Figura 3. 10 Medición DTF-VSWR polarización vertical antena 683.5MHz .....	89
Figura 3. 11 Medición Carta de Smith polarización vertical antena 683.5MHz .....	89
Figura 3. 12 Esquema para cálculo de ganancia de antena en prueba.....	91
Figura 3. 13 Patrón de radiación antena 683.5MHz.....	93
Figura 3. 14 Medición VSWR polarización horizontal antena 671.5MHz .....	96
Figura 3. 15 Medición Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 671.5MHz.....	97
Figura 3. 16 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 671.5MHz.....	98
Figura 3. 17 Medición DTF-VSWR polarización horizontal antena 671.5MHz .....	99
Figura 3. 18 Medición Carta de Smith polarización horizontal antena 671.5MHz.....	100
Figura 3. 19 Medición VSWR polarización vertical antena 671.5MHz .....	100
Figura 3. 20 Medición Pérdida de Retorno polarización vertical antena 671.5MHz .....	102
Figura 3. 21 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización vertical antena 671.5MHz .....	103
Figura 3. 22 Medición DTF-VSWR polarización vertical antena 671.5MHz .....	104
Figura 3. 23 Medición Carta de Smith polarización vertical antena 671.5MHz.....	104
Figura 3. 24 Esquema para cálculo de ganancia de antena diseñada .....	106
Figura 3. 25 Patrón de Radiación de antena de 671.5MHz.....	108
Figura 3. 26 Antena QP-2424G.....	111
Figura 3. 27 Medición VSWR polarización horizontal antena QP-2424G .....	111
Figura 3. 28 Medición Pérdida de Retorno polarización horizontal antena QP-2424G.....	113
Figura 3. 29 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización horizontal antena QP-2424G...	114
Figura 3. 30 Medición DTF-VSWR polarización horizontal antena QP-2424G .....	115
Figura 3. 31 Medición Carta de Smith polarización horizontal antena QP-2424G.....	115
Figura 3. 32 Medición VSWR polarización vertical antena QP-2424G .....	116
Figura 3. 33 Medición Pérdida de Retorno polarización vertical antena QP-2424G .....	117
Figura 3. 34 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización vertical antena QP-2424G .....	119
Figura 3. 35 Medición DTF-VSWR polarización vertical antena QP-2424G .....	119
Figura 3. 36 Medición Carta de Smith polarización vertical antena QP-2424G.....	120
Figura 3. 37 Antena WA-850TG.....	121
Figura 3. 38 Medición VSWR para VHF Antena WA-850TG .....	122
Figura 3. 39 Medición Pérdida de Retorno para VHF Antena WA-850TG.....	123
Figura 3. 40 Medición DTF-Pérdida de Retorno para VHF Antena WA-850TG.....	123
Figura 3. 41 Medición DTF-VSWR para VHF Antena WA-850TG .....	124
Figura 3. 42 Medición Carta de Smith para VHF Antena WA-850TG.....	125
Figura 3. 43 Medición VSWR para UHF Antena WA-850TG .....	125
Figura 3. 44 Medición Pérdida de Retorno para UHF Antena WA-850TG.....	126
Figura 3. 45 Medición DTF-Pérdida de Retorno para UHF Antena WA-850TG.....	127
Figura 3. 46 Medición DTF-VSWR para UHF Antena WA-850TG .....	127
Figura 3. 47 Medición Carta de Smith para UHF Antena WA-850TG.....	128

## CAPÍTULO 4

Figura 4. 1 Ejemplos de patrones de radiación (a) Omnidireccional Plano-H; (b) tipo Lápiz (volumétrico); (c) Direccional plano-E; (d) Cardioide.....	131
Figura 4. 2 Esquema de armado para mediciones de patrón de radiación .....	134
Figura 4. 3 Lóbulo de radiación antena 683.5MHz.....	136
Figura 4. 4 VSWR antena 683.5MHz polarización Horizontal.....	140
Figura 4. 5 Consideración para ancho de banda.....	142
Figura 4. 6 Pérdidas de retorno antena 683.5MHz polarización Horizontal .....	142
Figura 4. 7 Carta de Smith antena 683.5MHz polarización Horizontal .....	144
Figura 4. 8 VSWR antena 683.5MHz polarización Vertical.....	144
Figura 4. 9 Pérdidas de Retorno antena 683.5MHz polarización Vertical.....	146
Figura 4. 10 Carta de Smith antena 683.5MHz polarización Vertical .....	147
Figura 4. 11 Circuito 1 RLC.....	149
Figura 4. 12 Ilustración de resultados Frecuencia vs Potencia circuito 1 capacitancia 0.5nF... 152	152
Figura 4. 13 Ilustración de medición Frecuencia vs Potencia ampliado rango de potencia máxima capacitancia 0.5nF.....	152
Figura 4. 14 Ilustración mediciones Frecuencia vs Potencia circuito 1 capacitancia 0.33nF ... 155	155
Figura 4. 15 Ilustración de medición Frecuencia vs Potencia ampliado rango de potencia máxima capacitancia 0.33nF.....	155
Figura 4. 16 Circuito 2 RLC.....	157
Figura 4. 17 Ilustración circuito 2 de Frecuencia vs Potencia.....	159
Figura 4. 18 Circuito de línea de transmisión .....	161
Figura 4. 19 Ilustración mediciones circuito de línea de transmisión en cortocircuito Frecuencia vs Potencia .....	163
Figura 4. 20 Ilustración circuito línea de transmisión en circuito abierto .....	165
Figura 4. 21 Esquema de añadir Stub a línea de transmisión.....	166
Figura 4. 22 Carta de Smith Cálculo de ubicación de stub según su frecuencia .....	167
Figura 4. 23 Ilustración de mediciones de línea de transmisión con Stub Frecuencia vs Potencia .....	171
Figura 4. 24 Ilustración circuito línea de transmisión con Stub en cortocircuito Frecuencia vs Potencia.....	173

## GLOSARIO

**Calibración:** Proceso de comparar ciertas medidas específicas con otro instrumento estándar.

**Circuito de resonancia:** es un circuito formado por una bobina L y un condensador C. En circuito LC hay una frecuencia para la cual se produce un fenómeno de resonancia eléctrica, a la cual se llama frecuencia de resonancia, para la cual la reactancia inductiva es igual a la reactancia capacitiva.

**dB:** Es un término utilizado para referirse a, Decibelio, siendo el acrónimo de la unidad.

**dBm:** Es una unidad de medida utilizada, principalmente, en telecomunicación para expresar la potencia *absoluta* mediante una relación logarítmica. El dBm se define como el nivel de potencia en decibelios en relación a un nivel de referencia de 1 mW.

**Dipolo:** es una antena con alimentación central empleada para transmitir o recibir ondas de radiofrecuencia. Estas antenas son las más simples desde el punto de vista teórico.

**Frecuencia:** Número de ciclos por segundo que pasan por un punto fijo.

**Frecuencia de corte:** Es la frecuencia para la que la ganancia en tensión del filtro cae de 1 a 0.707 (esto expresado en decibelios, dB, se diría como que la ganancia del filtro se reduce en 3dB de la máxima, que se considera como nivel de 0dB). En los filtros pasa banda y elimina banda existirán dos frecuencias de corte diferentes, la inferior y la superior.

**Guía de Onda (Wave Guide):** Es un medio de comunicación que opera en el rango de las frecuencias de las microondas (GHz). Su construcción es de material metálico, es un conductor hueco, hay dos tipos usados comúnmente: de sección rectangular y sección circular. El ancho de banda es extremadamente grande y es usada principalmente cuando se requiere bajas pérdidas en la señal bajo condiciones de muy alta potencia.

**Longitud de onda:** es la distancia que recorre la onda en el intervalo de tiempo transcurrido entre dos máximos consecutivos.

**Radiación:** El fenómeno de la radiación consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas subatómicas a través del vacío o de un medio material.

**RF:** Radio Frecuencia.

**Susceptancia:** es la parte imaginaria de la admitancia. En unidades del SI, la susceptancia se mide en Siemens.

**VSWR:** es la cantidad de reflexión que viene de impedancia con desfase y se trata en detalle en la línea de transmisión de la teoría. El menor el VSWR mejor la impedancia se pongan en venta y, por tanto, mejor transmisión.

**Pérdidas de Retorno:** Se denomina pérdida de retorno, a la energía o potencia que retorna a la carga cuando la impedancia de la carga es diferente respecto de la impedancia de la fuente. En este caso se dice que hay un desbalance de impedancia entre la carga y la fuente.

**Distancia a la Falla pérdidas de Retorno:** La gráfica de pérdidas de retorno en función de la distancia describe las características del cableado, mostrando al usuario la localización precisa de los fallos (DTF).

**Distancia a la Falla VSWR:** La medida DTF muestra el ROE en comparación con los valores de distancia. Si las mediciones de frecuencia fallan o muestran un problema en el sistema, entonces la medida DTF se puede utilizar para identificar y localizar la ubicación exacta del problema. La medida DTF muestra el valor de la pérdida de retorno de todos los componentes individuales, incluyendo pares de conectores y componentes de los cables.

**Carta de Smith:** Despliega los resultados de las mediciones en una carta de Smith.



# **CAPÍTULO 1.**

## **ANÁLISIS DE EQUIPOS DE MEDICIÓN**

### **1.1 COMPARACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ENTRE EQUIPOS**

Entre los diferentes equipos que se dispone en los laboratorios de electrónica se pudo observar que existen equipos muy versátiles los cuales son multifuncionales y nos permiten con sus características tomar varias mediciones sin la necesidad de cambiar de instrumentos lo cual nos dará la ventaja de optimizar el tiempo. Además que muchos de los equipos existentes ya no son muy apropiados para el trabajo que se desea realizar por el tiempo de vida que estos tienen. Existe una gran gama de instrumentación, sin embargo las exigencias que se tienen en el ámbito profesional requieren que se maneje tecnología de punta, razón por la cual es conveniente ver los equipos más modernos o ver la manera de conseguir estos para un correcto equipamiento de los laboratorios y así crear entes competitivos con alto nivel de conocimiento.

### **1.2 SELECCIÓN DEL EQUIPO MÁS ADECUADO PARA LAS PRÁCTICAS**

Por las características que poseen para ser usados y simplificar el uso de varios equipos, el que brinda la mejor factibilidad es el SITE MASTER ANRITSU S362E el cual es un analizador práctico de movilizar, multifuncional y posee tecnología moderna que nos brindará una mejor percepción de las medidas que vayamos a realizar.

Tabla 1. 1 Características Anritsu S362E [1]

Función	Descripción
Analizador de cables y antenas (2MHz a 6GHz)	Caracteriza por sistemas d cables y antena con pérdidas de retorno, pérdidas de cable, VSWR (Relación de onda estacionaria de voltaje), medida de distancia a la falla. También incluye una fase de puertos y un despliegue de carta de Smith. Ofrece más de 1ms/punto de datos de alta velocidad y una pantalla dual.
Analizador de espectros (100KHz a 6GHz)	Localiza e identifica varias señales en un amplio rango de frecuencias. Detecta señales tan bajas como $-152dBm$ con ruido de fase mejor que $-100 dBc/Hz$ .
Medidor de transmisión de 2 puertos	Brinda configuraciones de alta y baja potencia para mediciones de ganancia TMA (Amplificador montado torre) y aislamiento antena-antena. Ofrece un rango dinámico mejor a $80dB$ .
Insertador de Continua (Bias Tee)	Provee un insertador de continua de $32V$ que se puede activar cuando sea necesario, esto elimina la necesidad de llevar una alimentación externa.
Medidor de Potencia de alta precisión	Conexión de sensores de potencia USB de alta precisión de 6,8, y $18 GHz$ con una precisión mayor a $0,16dB$ .
Medidor de Potencia	Hace canalizar las mediciones de potencia del trasmisor
Analizador de Interferencia	Incluye la popular pantalla de espectrograma para monitoreo de señales intermitentes en el tiempo.
Analizador de Canal	Mide la potencia de múltiples señales transmitidas.
Generador de Señal CW (Onda Continua)	Incluye una fuente de CW para probar amplificadores de bajo ruido, repetidores. (Necesita un kit externo generador de CW)
Receptor GPS	Proporciona información sobre localización y hora UTC. Además brinda mayor precisión del oscilador de referencia.
Compuerta de Barrido (Gated Sweep)	Vista de pulsos o ráfagas de señales como WiMAX, GSM, y TD-SCDMA solo cuando ellas estén encendidas.
Analizador AM/FM/PM	Analiza señales AM/FM/PM y mide desviaciones FM/PM, ancho AM, SINAD (Señal a ruido y Relación de la distorsión), distorsión armónica total y mucho más.

Uno de los equipos de laboratorio con el cual sería comparable sería el Anritsu MS2036A VNA Master, este equipo es un analizador de espectros

Tabla 1. 2 Características Anritsu MS2036A [2]

Función	Beneficio
Analizador vectorial de red de 2 puertos	Verifica antenas, analiza la fase de cables partidos, y detecta fallas usando Distance-to-Fault (DTF)
Analizador del ancho del espectro (10KHz a 7.1GHz)	Apoyo monitoreo aeroespacial, defensa y las normas de comunicación inalámbricas
Medidor del ancho de potencia (10MHZ o 7.1GHz)	Conveniente medidor de potencia sin necesidad de un detector externo
Monitor de medidas de potencia opcional (1MHz a 20GHz)	Solución de transmisiones en campo para mayor exactitud usando un detector externo
Medidor de potencia de alta precisión opcional, sensores de potencia PSN50 y MA24106A (50MHz a 6GHz)	Medidor d potencia integrado proporcionando ventaja ante instrumentos de mesa similares
Modo de voltímetro vectorial opcional (VVM)	Sustituye a instrumentos obsoletos y accesorios externos con una solución más simple
Controles diseñados ergonómicamente	Fácil de usar y fácil de aprender para optimizar la productividad del operador
Probador de mano de RF operado con baterías	Transportarlo y usarlo libremente sin necesidad de estar conectado a una fuente AC

### 1.3 INFORMACIÓN GENERAL DEL EQUIPO

El Site Master S362E es un analizador de cables y antenas que funciona en el rango de frecuencias de 2 MHz a 6 GHz, y como analizador de espectros de 100 kHz a 6 GHz.

---

 Opciones Site Master S362E:

Tabla 1. 3 Opciones Site Master S362E [3]

S362E	Descripción
S362E-0021	2-Puertos de Medidas de Transmisión
S362E-0010	Insertador de Continua (Bias-Tee)
S362E-0031	Receptor GPS (Require Antena P/N 2000-1528-R)
S362E-0019	Medidor de Potencia de Alta Precisión
S362E-0029	Medidor de Potencia
S362E-0025	Analizador de Interferencia
S362E-0027	Analizador de Canal
S362E-0090	Compuerta de Barrido
S362E-0028	Generador de Señal CW (Requiere kit CW generador de señal, P/N 69793)
S362E-0509	Analizador AM/FM/PM
S362E-0098	Calibración Estandar a Z540
S362E-0099	Calibración Premium a Z540 plus datos de prueba

El Site Master es un equipo multifuncional de pruebas el cual nos brinda la facilidad de eliminar el transporte de varios equipos, debido que en él se pueden realizar múltiples operaciones como medidor de cables y antenas y un analizador de espectros, entre otras opciones que podemos configurar gracias a las características que este nos brinda.

Su monitor posee la característica de ayudar en la visualización en diferentes condiciones de luz, además de poseer una pantalla táctil que combinada con su teclado permite una fácil navegación a través del menú del instrumento, además de brindar un uso portátil de este gracias a su batería de Li-Ion que nos da más de tres horas de uso.

Este equipo nos brinda la ventaja de poder almacenar nuestros datos en dispositivos como una memoria USB o en la PC con ayuda del cable de datos, además de poseer una memoria interna q guarda aproximadamente 2000 trazos o configuraciones.

---

Se cuenta también con Mater Software Tools es un programa para la PC que nos permite realizar diferentes aplicaciones como organizar los datos, poner indicadores, crear reportes y hacer análisis.

Para un correcto funcionamiento del equipo es necesario realizar por lo menos una calibración anual de este usando los estándares como lo son para Abierto, Cerrado y Carga.

## 1.4 IMÁGENES DEL EQUIPO Y SUS ACCESORIOS



Figura 1. 3 Analizador Anritsu S362E



Figura 1. 2 Anritsu 22N50 (Abierto-Cerrado)



Figura 1. 1 Sensor de alta precisión Anritsu PSN50



Figura 1. 5 Carga-Abierto-Corto



Figura 1. 4 Parte Anritsu SM/PL-1 Terminación (Carga)



Figura 1. 6 Parte Anritsu OSLN50-1 (Abierto-Corto-Carga)



Figura 1. 7 Parte Anritsu 806-141-R Cargador de Auto





Figura 1. 8 Kit de adaptadores Multi –RF modelo 72934



Figura 1. 9 Cable para puerto de Prueba reforzado con armadura de agarre



Figura 1. 10 Kit de adaptadores universal modelo 5698

## 1.5 USO DE FUNCIONES BÁSICAS

### Modo de Selección de Medida

Se selecciona la tecla *Menu* y con la pantalla táctil seleccionamos el

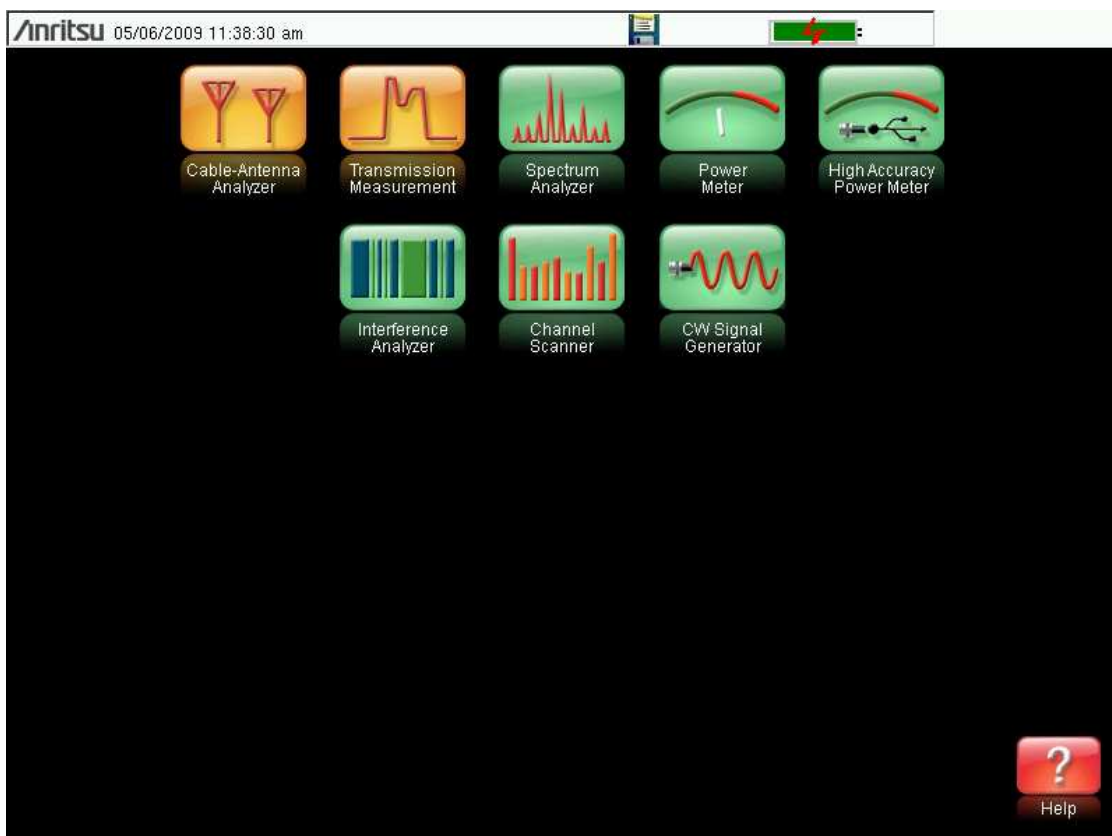


Figura 1. 11 Pantalla con iconos de modos de medición

modo de medida adecuado.

### Analizador de Cables y Antenas

Se selecciona el modo de medida requerido. Para elegir el tipo de medida se presiona la tecla *Measurement* y se la selecciona.

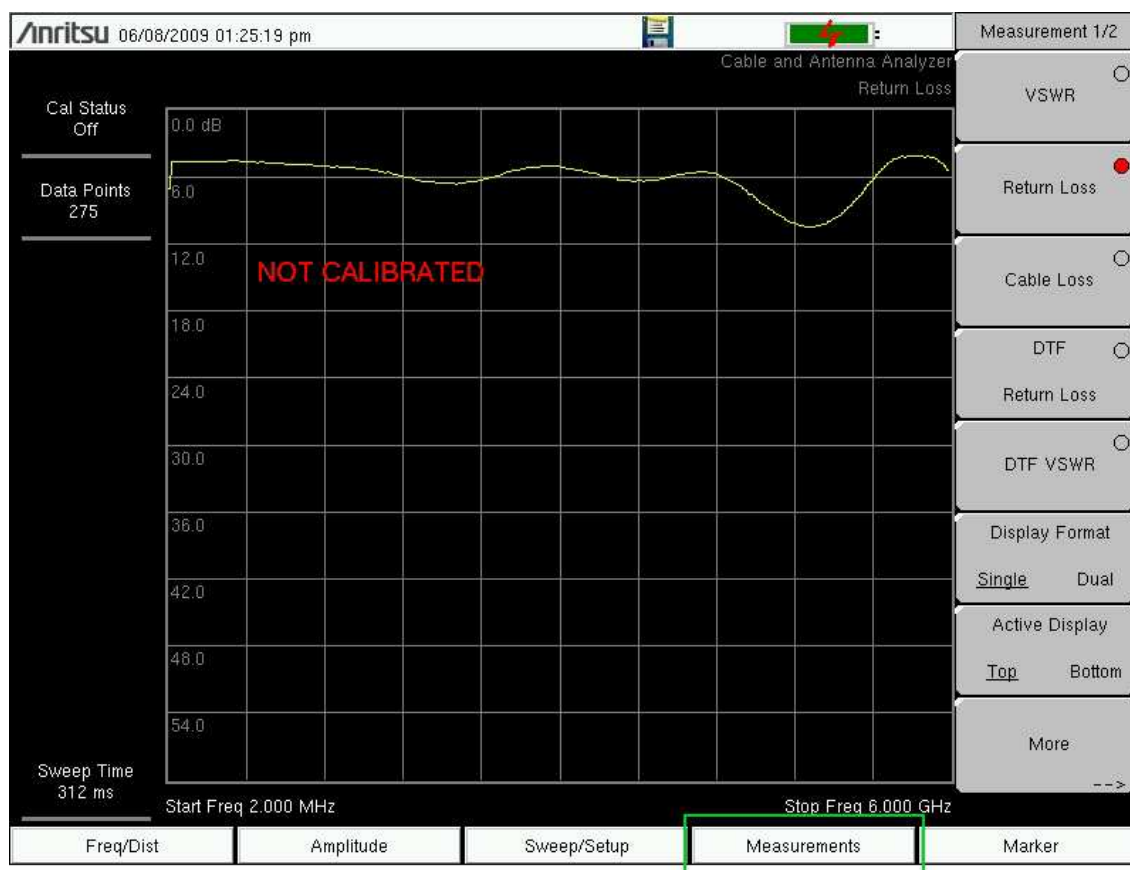


Figura 1. 12 Pantalla de Menú con los iconos de Medida hábiles

**Ajuste de Frecuencia.-** Esta operación es requerida para obtener una correcta lectura de los datos en un rango deseado de frecuencia, de este modo obtendremos una lectura más confiable e incluso más perceptible a la vista.

1. Presione la tecla *Freq/Dist* del menú principal.
2. Presione en el submenú la tecla *Start Freq* y use el teclado, la rueda o las flechas de desplazamiento para seleccionar la frecuencia inicial.

- 
3. Presione en el submenú la tecla *Stop Freq* y use el teclado, la rueda o las flechas de desplazamiento para seleccionar la frecuencia final.

**Ajuste de Amplitud.-** El ajuste de amplitud permite poner los datos en un rango de medida desde el cual pueda apreciarse de mejor manera la intensidad que tiene la señal.

1. Presione la tecla *Amplitude* del menú principal.
2. Presione en el submenú la tecla *Top* y use el teclado, la rueda o las flechas de desplazamiento para seleccionar el valor superior y presione *Enter* para ajustarlo.
3. Presione en el submenú la tecla *Bottom* y use el teclado, la rueda o las flechas de desplazamiento para seleccionar el valor inferior y presione *Enter* para ajustarlo.

**Activación de Marcadores.-** Esta función permite visualizar el valor de la señal en un punto determinado que el usuario desee teniendo varios marcadores para ubicarlos a través de la gráfica.

1. Presione la tecla *Marker* del menú principal.
2. Presione la tecla del submenú *Market 1 2 3 4 5 6* y seleccione el botón número 1 de la pantalla táctil. El número subrayado en el teclado submenú *Marker* muestra el marcador activo.
3. Use las flechas de desplazamiento, el teclado o la rueda para mover el marcador. El valor promedio para el marcador seleccionado es mostrado en la esquina superior izquierda de la gráfica. Es posible mover el marcador usando la pantalla táctil.
4. Los marcadores Delta están disponibles para cada uno de los seis marcadores de referencia. Para el marcador seleccionado, encender mediante la tecla del submenú *Delta On/Off*.

---

**Auto Marcadores Peak/Valley.-** Este es un tipo de marcador el cual permite visualizar tanto el máximo como el mínimo valor de la gráfica que está siendo analizada.

Mientras analizamos pérdidas de retorno y VSWR, el *Peak/Valley Auto* ajustable puede ser usado automáticamente para activarse con el Marcador 1 al pico, Marcador 2 al valle y mostrar *M1* y *M2* en la tabla de marcadores. Esta opción no está habilitada para medidas DTF.

1. Presione la tecla *Marker* del menú principal.
2. Presione la tecla *Peak/Valley Auto*.

**Línea de Límite Simple.-** Esta opción es empleada para indicar en la pantalla un valor tope al cual puede llegar la señal, pudiendo ser programada una alarma en caso que esta se iguale o sobrepase el límite indicado.

1. Presione *Shift* y luego *Limit* para entrar al menú de Límites.
2. Presione la tecla *Limit On/Off* para encender los límites.
3. Presione *Single Limit* y luego use el teclado numérico, las flechas de desplazamiento o la rueda para cambiar el valor del límite y luego presiones *Enter*.
4. Presione la tecla *Limit Alarm* para encender o apagar la alarma de los límites.

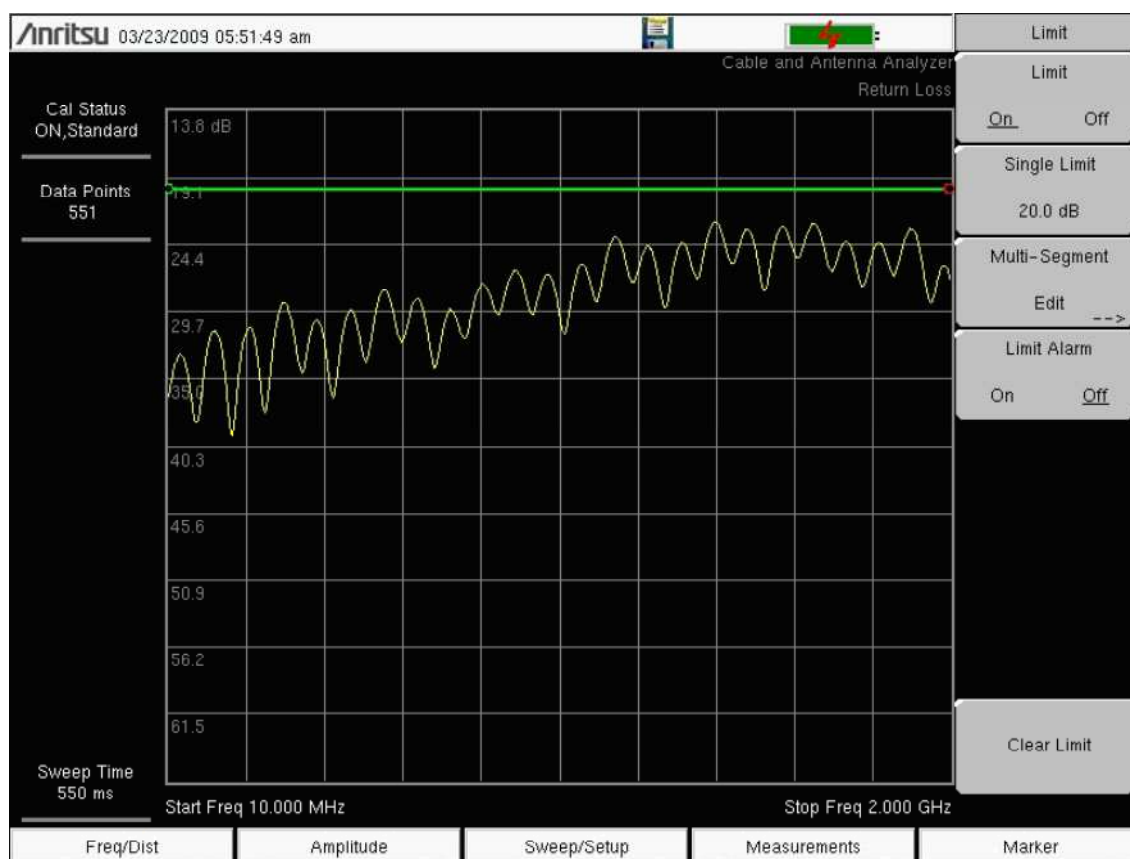


Figura 1. 13 Líneas de Límite Simple

**Configuración DTF.-** Esta opción es muy útil y por lo tanto su calibración muy importante debido que para analizar si un sistema está funcionando de una manera adecuada debemos encontrar en qué lugar se encuentra un problema que podría afectar el correcto funcionamiento.

La medida principal del sitio DTF utiliza la transformada rápida de Fourier para convertir los datos de frecuencia al dominio del tiempo y muestra las anomalías de la señal con respecto a la distancia. Usando la función matemática de seguimiento estándar, se puede controlar pequeños cambios en relación con el tiempo.

1. Presione la tecla *Measurement* del menú principal y seleccione *DTF Return Loss* o *DTF VSWR*.
2. Presiones la tecla *Freq/Dist* del menú principal.

3. Presione en el teclado del submenú *Units* y seleccione *m* para mostrar la distancia en metros o *ft* para mostrar la distancia en pies.
4. Presione *DTF Aid* y use la pantalla táctil o las flechas para navegar a través de todos los parámetros DTF.
  - a. Configurar *Start Distance* y *Stop Distance*. *Stop Distance* necesita ser menor que *Dmax*.
  - b. Ingrese la frecuencia de inicio y final.
  - c. Presione *Cable*, seleccione el cable apropiado de la lista de cables y presione *Enter*.
  - d. Presione *Continue*.

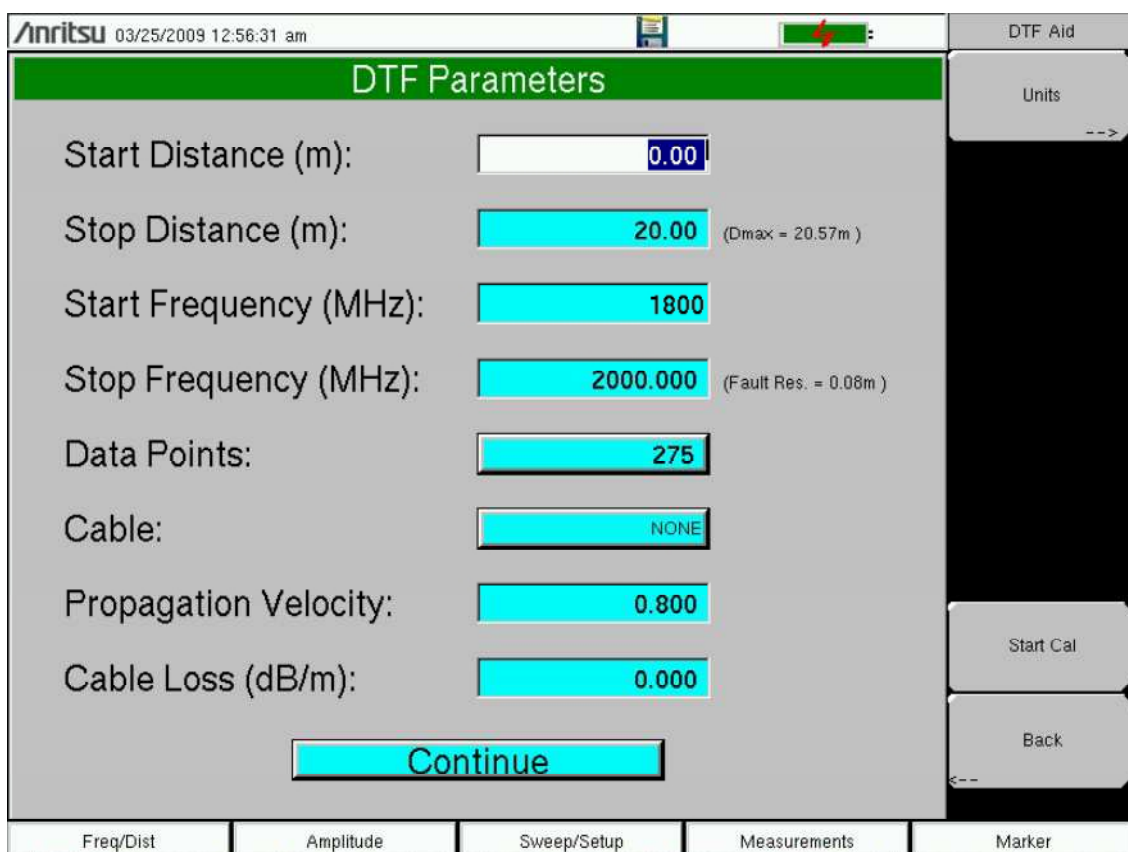


Figura 1. 14 DTF Aid

5. Presione *Shift* luego *Calibrate* para calibrar el instrumento.
6. Presione la tecla del menú principal *Marker* y configure los marcadores apropiados.
7. Presione *Shift* y *Limit* para ingresar y configure las líneas límite apropiadas.

---

8. Presione *Shift* y *File* para salvar las medidas.

**Calibrar con Calibración OSL.-** Es necesaria realizar esta calibración para eliminar errores y dar una mayor precisión a las medidas que se van a tomar, lo que se realiza con esta calibración es eliminar todos los valores generados desde la fuente los cuales no corresponden a los datos que originales que se toman.

1. Presione la tecla del menú principal *Freq/Dist* e ingrese el rango de frecuencia apropiado.
2. Presione *Shift* y luego la tecla *Calibrate*.
3. Seleccione *Standard* o *FlexCal*.
4. Presione *Start Cal* y siga las instrucciones de la pantalla.
5. Conecte *Open* a *RF Out* y presione la tecla *Enter*.
6. Conecte *Short* a *RF Out* y presione la tecla *Enter*.
7. Conecte *Load* a *RF Out* y presione la tecla *Enter*.
9. Verifique que la calibración ha sido realizada de manera adecuada revisando que el mensaje *Cal Status* este mostrando “*ON, Standard*” u “*ON, FlexCal*”.



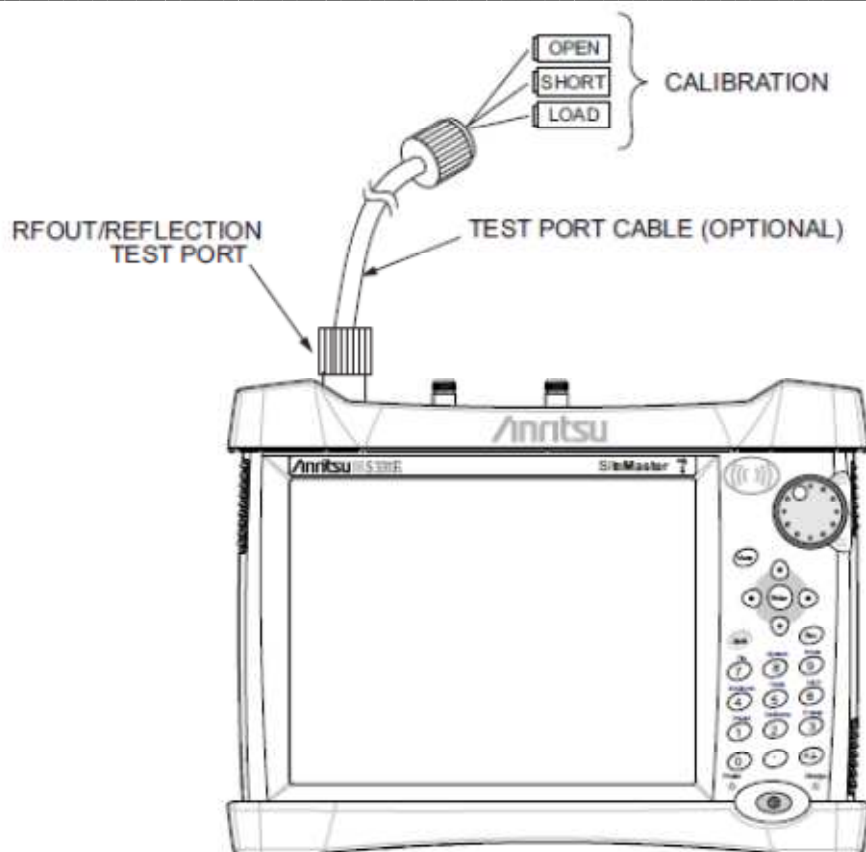


Figura 1. 15 Configuración de Calibración con OSL Cal

## Analizador de Espectros

**Configuración de las frecuencias de Inicio y Final.-** Se realiza la configuración para poder tener una apreciación adecuada en un rango de frecuencia deseado y según la unidad que mejor se ajuste a este.

1. Presione la tecla *Freq* del menú principal.
2. Presione la tecla *Start Freq* del submenú.
3. Ingrese la frecuencia inicial deseada. Si la ingresa con el teclado, el texto del submenú cambia a GHz, MHz, KHz y Hz. Debe seleccionar la unidad adecuada. Si se presiona la tecla *Enter* es similar a seleccionar la tecla MHz del submenú.
4. Presione la tecla *Stop Freq* del submenú.
5. Ingrese la frecuencia final deseada.

---

**Ingreso de la frecuencia Central.-** Se realiza para que en la pantalla quede ajustado un valor de frecuencia específico el cual será el centro de la señal que se medirá.

1. Presione la tecla *Freq* del menú principal.
2. Presione la tecla *Center Freq* del submenú.
3. Ingrese la frecuencia inicial deseada. Si la ingresa con el teclado, el texto del submenú cambia a GHz, MHz, KHz y Hz. Debe seleccionar la unidad adecuada. Si se presiona la tecla *Enter* es similar a seleccionar la tecla MHz del submenú.

La frecuencia central y el span son mostrados en la parte inferior de la pantalla.

**Selección de una Señal Estándar.-** Al seleccionar una señal estándar permitirá tener la mejor señal que se ajuste y así se puede medir la potencia del canal.

1. Presione la tecla *Freq* del menú principal.
2. Presione la tecla *Signal Standard* del submenú. Se abrirá la ventana de diálogo de las señales.
3. Seleccione una señal y presione *Enter*.
4. Presione la tecla *Channel* del submenú para cambiar el valor del canal en el editor de canal.

La señal estándar es mostrada en amarillo en la parte superior de la pantalla.

**Selección de la Medición del Ancho de Banda de la Frecuencia.-** Esta opción nos permite variar la resolución del ancho de banda de la señal a analizar.

1. Presione la tecla *BW* del panel principal para mostrar la pantalla de menú de BW.
  - Presione *RBW* y/o *VBW* del submenú para cambiar manualmente los valores.
  - Configure *RBW* y *VBW* automáticamente presionando la tecla *Auto RBW* o *Auto VBW* del submenú.

- 
2. Presione *RBW/VBW* del submenú para cambiar la resolución del ancho de banda y la relación del ancho de banda del video.
  3. Presione *Span/RBW* del submenú para cambiar el ancho del Span a la relación de la resolución del ancho de banda.

### **Selección de Amplitud**

**Seleccionar el Nivel de Referencia de la Amplitud y su Escala.-** Sirve para ajustar el origen de la señal donde esta va a estar y la escala que va a usar para tener unos datos más perceptibles a la vista.

1. Presione *Reference Level* del submenú y use las flechas, la rueda o el teclado para cambiar el nivel de referencia. Presione *Enter* para dejar configurado el nivel de referencia.
2. Presione *Scale* del submenú y use las flechas, la rueda o el teclado para cambiar la escala. Presione *Enter* para dejar configurado la escala.

**Seleccionar el Rango de Amplitud y la Escala.-** Permite configurar los valores de la amplitud de la señal y en que escala van a estar reflejados.

1. Presione *Auto Atten* del submenú para configurar un óptimo nivel de referencia basado en la señal medida.
2. Presione *Scale* del submenú.
3. Ingrese las unidades de la escala deseada usando las flechas, la rueda o el teclado. Presione *Enter* para aceptar la configuración. La escala del eje *Y* es automáticamente reenumerada.

### **Configuración de la Potencia de Offset para compensar las pérdidas externas.**

Para obtener resultados exactos, se debe compensar las atenuaciones externas mediante la potencia de offset. En el modo de potencia de offset, el factor de compensación está en dB. Las atenuaciones externas pueden ser causadas por cables externos o un atenuador de alta potencia externo.

---

Presione *RL Offset* del submenú y use las flechas, la rueda o el teclado para ingresar el valor de offset deseado. Cuando se use la rueda, los valores cambian en incrementos de  $0.1dB$ . Usando las flechas de desplazamiento izquierda/derecha los valores incrementan en 10% de los mostrados en la tecla del submenú *Scale*. Cuando se usan las flechas Arriba/Abajo, el valor cambia en los incrementos mostrados en la tecla del submenú *Scale*. Si se usa el teclado, se debe ingresar el valor y luego presionar *Enter* o la tecla *dB* del submenú para configurar el valor. La potencia de offset es mostrada en la columna de resumen de las configuraciones que aparece en la parte izquierda de la pantalla de medición.

**Configuración del Span.-** Permite configurar un rango de frecuencia de la señal medida que se va a visualizar en la pantalla.

1. Presione la tecla *Span* del menú principal o la tecla *Freq* del menú principal seguida de la tecla *Span* del submenú.
2. Para seleccionar un span completo, presione la tecla *Full Span* del submenú. Seleccionando el span completo se reemplaza toda configuración previa de frecuencia de inicio y frecuencia de parada.
3. Para una simple medición de frecuencia, presione la tecla *Zero Span* del submenú.

**Línea de Límite Simple.-** Es una línea de referencia que se configura en la pantalla para tener una relación y ver cuando la señal medida se aproxima a este valor.

Presione la tecla *Limit* del menú y aparecerá el menú del limite

1. Presione *Limit (Upper/Lower)* del submenú para seleccionar la línea de límite deseada, *Upper* o *Lower*.
2. Para activar la línea de límite deseada se debe presionar la tecla *On Off* del submenú de manera que *On* esté subrayada.
3. Presione la tecla *Limit Move* del submenú para mostrar el menú de movimiento de los límites. Presione la primera tecla *Move Limit* y use las flechas, la rueda o el teclado para cambiar el valor del nivel de dBm de la línea límite.

4. Presione la tecla *Back* del submenú para regresar al menú de *Limit*.
5. Si es necesario, presione la tecla *Set Default Limit* del submenú para redibujar la línea límite que se visualiza.

### **Líneas de Límite Segmentada**

El siguiente procedimiento muestra líneas de límite para la medición de pérdidas de retorno. Los límites son configurados a  $12dB$  entre  $1000MHz$  y  $1400MHz$  y a  $15dB$  si está entre  $1600MHz$  y  $2000MHz$ .

1. Presione *Limit (Upper/Lower)* del submenú para seleccionar la línea de límite deseada, *Upper* o *Lower*.
2. Para activar la línea de límite deseada se debe presionar la tecla *On Off* del submenú de manera que *On* esté subrayada.
3. Presione la tecla *Limit Move* del submenú para mostrar el menú del movimiento de los límites.

### **Crear una Línea de Límite segmentada de muestra**

Permite agregar puntos de referencia límite de la señal medida.

1. Presione la tecla *Limit Move* del submenú y use el teclado numérico para ingresar los valores de los límites de  $12dB$ . El valor del límite puede ser movido usando las flechas de navegación.
2. Presione *Limit Edit* para mostrar el menú de edición.
3. Presione la tecla *Add Point* del submenú.
4. Presione *Frequency* del submenú e ingrese  $1400MHz$ .
5. Presione la tecla *Add Point* del submenú.
6. Presione *Frequency* del submenú e ingrese  $1600MHz$ .

### **Crear un Sobre Límite**

Este permite mostrar los límites de la señal delimitando sus valores y mostrando la tendencia que esta tiene.

1. Presione *Shift* luego *Limit* para abrir el menú de Límites.
2. Seleccione *Limit Envelope*.
3. Presione la tecla *Create Envelope*.

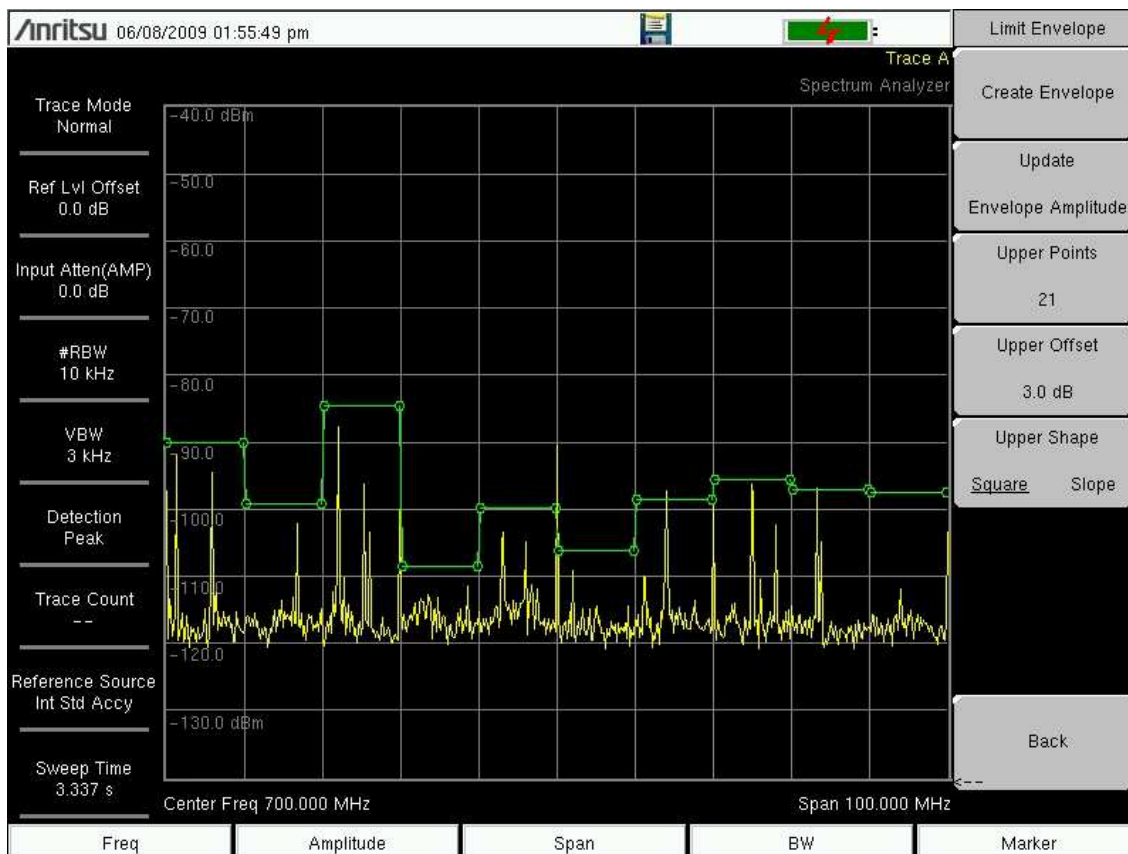


Figura 1. 16 Sobre Límite

## Configuración de Marcadores

Ayuda a configurar cada uno de los indicadores que se tiene para la señal medida y así tener referencia de los valores de esta en determinados momentos.

Presione la tecla *Marker* del menú principal para desplegar las opciones de los marcadores.

### Selección, Activación y Ubicación de los Marcadores.

1. Presione la tecla *Marker 1 2 3 4 5 6* del submenú y luego seleccione el marcador deseado los botones de la pantalla táctil. El marcador seleccionado estará subrayado en el botón *Marker* de la pantalla.
2. Presione *On Off* del submenú de tal manera que *On* esté subrayado. El marcador seleccionado se mostrará en color rojo y está listo para ser desplazado.

- 
3. Use la rueda para ubicar al marcador en la frecuencia deseada.
  4. Repetir los pasos del 1 al 3 para agregar otros marcadores.

### **Selección, Activación y Ubicación de los Marcadores Delta**

Este permite visualizar un marcador para la medición de parámetros tales como tiempo de subida, tiempo de caída, el intervalo de repetición del pulso.

1. Presione la tecla *Marker 1 2 3 4 5 6* del submenú y luego seleccione el marcador delta deseado. El marcador deseado se mostrará subrayado.
2. Presione la tecla *Delta On Off* del submenú de tal manera que *On* se muestre subrayado. El marcador seleccionado se verá en rojo y estará listo para ser desplazado.
3. Use la rueda para ubicar al marcador delta en la frecuencia deseada.
4. Repetir los pasos del 1 al 3 para agregar otros marcadores.

### **Ver Datos de Marcador en Formato de Tabla**

Permite visualizar los datos de los valores en los cuales están ubicados los marcadores en una tabla para sacar información requerida.

1. Presione la tecla *More* del submenú.
2. Presione la tecla *Marker Table On Off* del submenú de tal manera que *On* esté subrayado. Todos los datos de los marcadores y marcadores delta serán desplegados en una tabla debajo del gráfico de medidas.

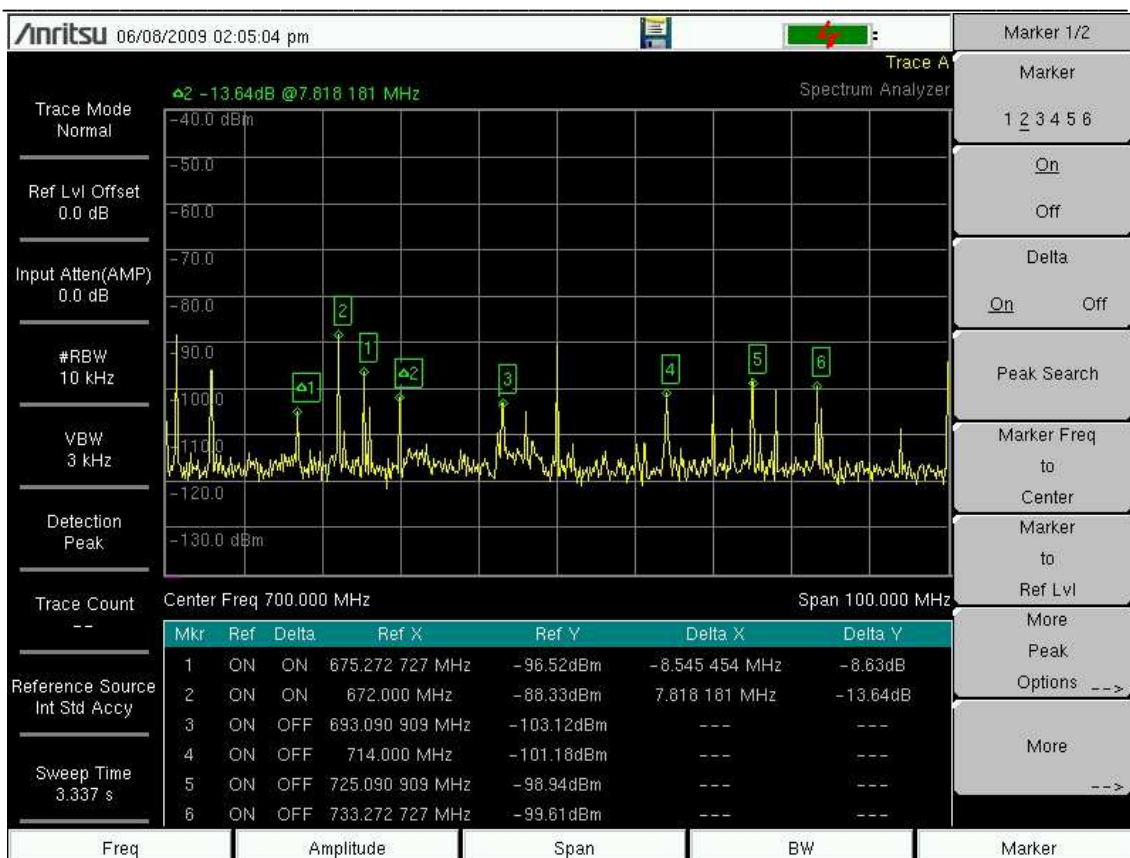


Figura 1. 17 Tabla de Marcadores

### Selección de un Tipo de Medición Inteligente

En el modo de Analizador de Espectros, presione *Shift* después *Measure* y seleccione una medida inteligente usando las teclas del submenú.

La selección de una medida óptima permite que la señal a analizar sea más entendible por el usuario de este modo se pueda sacar el mayor provecho de ella.



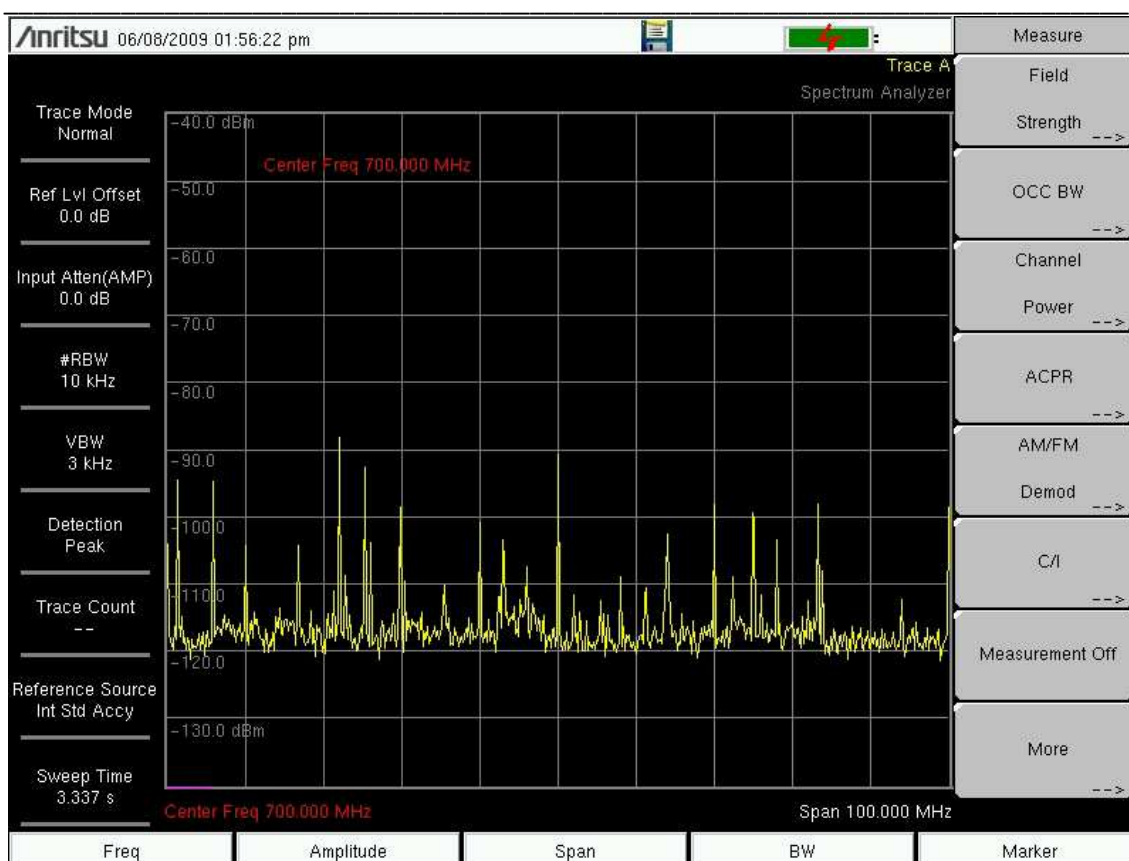


Figura 1. 18 Menú de Medidas del Analizador de Espectros

## Guardar Mediciones

Los archivos de las mediciones pueden ser grabados en los siguientes formatos:

.VNA y .DAT para medidas del analizador de cables y antenas.

.SPA para medidas del analizador de espectros.

Los archivos guardados como .VNA o .SPA son recomendados debido que permiten al usuario editarlos, visualizarlos y analizar las gráficas con ayuda de Master Software Tools (MST). Sin embargo, al guardarlos en formato .DAT podremos realizar las mismas tareas usando Handheld Software Tools (HHST)

Es recomendable primero grabar el archivo en la memoria interna del analizador y después pasarlo a un dispositivo USB.

### Procedimiento para Guardar archivos:

1. Presione *Shift* después *File*.

- 
2. Presione *Save Measurements*.
  3. Presione *Change Save Location* y configure el lugar de almacenamiento, un dispositivo USB o en la memoria interna del analizador, después presione *Set Location*.
  4. Presione *Change Type* y luego seleccione *Measurement .VNA* o *Measurement .DAT* o *Measurement* si está en modo de analizador de espectros.
  5. Ingrese el nombre con el teclado y presione *Enter*.

## **CAPÍTULO 2.**

### **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE 2 ANTENAS**

#### **2.1. INTRODUCCIÓN**

Una Antena es un elemento que convierte la energía eléctrica de alta frecuencia, entregada por el transmisor, en ondas electromagnéticas que pueden viajar por el espacio, llevando la información hacia uno o varios receptores. Cuando Hertz realizó sus primeros experimentos sobre la transmisión inalámbrica de ondas electromagnéticas, empezó a utilizar las antenas. Pero las antenas, tal como las conocemos hoy, se originaron en los experimentos de Marconi y Popov, que desarrollaron las primeras tecnologías sobre este importante aspecto de las radiocomunicaciones. Una antena es básicamente un pedazo de material conductor que está conectado al transmisor. Este conductor es generalmente un alambre de cobre o una varilla de aluminio, material muy utilizado debido a su buena resistencia y bajo peso. Para que una antena cumpla su función correctamente, debe tener un determinado tamaño, forma y estar construida con materiales especiales. Las antenas se basan en el principio de la radiación producida al circular una corriente eléctrica por un conductor. Esta corriente produce un campo magnético alrededor del conductor, cuyas líneas de fuerza están en ángulo recto con respecto al conductor y su dirección está determinada por la dirección de la corriente. Este campo magnético es variable y sigue las mismas ondulaciones de la corriente eléctrica de alta frecuencia que se le entrega a la antena. Cuando el transmisor entrega la señal de corriente alterna, ésta aumenta desde cero voltios hasta su máximo valor. Así al llegar al pico máximo de voltaje, la antena adquiere una carga eléctrica positiva. Esta carga produce a su alrededor un campo eléctrico. Cuando la señal de

---

corriente alterna empieza a decrecer de su máximo valor hacia cero, el campo eléctrico también decrece. Por lo mismo se puede concluir que en una antena existen un campo eléctrico y un campo magnético simultáneos que siguen las variaciones de la señal entregada a ella, y que además son perpendiculares entre sí. [4]

Las antenas son estructuras metálicas o también metálicas dieléctricas, diseñadas para radiar o recibir ondas electromagnéticas permitiendo una transferencia eficiente de energía entre una línea de transmisión y el espacio libre; esto es, transforman una onda guiada en una onda en el espacio libre o viceversa.

El carácter de los procesos, que tienen lugar en las antenas transmisora y receptora atestiguan su reciprocidad, la misma que encuentra su expresión en la posibilidad de utilizar una misma antena en calidad de transmisora y receptora, y de conservar invariables los parámetros principales de la antena al pasar del régimen de transmisión al de recepción y viceversa. Este principio tiene gran importancia práctica, y es utilizado en la mayoría de sistemas de comunicaciones.

Todas las antenas, independientemente de su aplicación, tienen ciertas propiedades básicas comunes, como son: patrón de radiación, polarización, directividad, ganancia, impedancia, ancho de banda, mientras que otras propiedades como: resistencia de radiación, relación frente a espalda, etc. no son aplicables a todos los tipos de antenas. Estas propiedades son iguales para transmisión o recepción en virtud del principio de reciprocidad.

Existe variedad de antenas para su elaboración, sin embargo considerando el desarrollo de la televisión digital y que el Ecuador está entrando en este avance, es procedente ver una antena de sencillo diseño, implementación y alta directividad. Lo que se desea es encontrar una antena que irradie y reciba ondas electromagnéticas en un rango estrecho, que se pueda aprovechar la mayor cantidad de potencia en un solo punto, que por sus características sea de fácil manejo y transporte.

Existen varios tipos de antenas dependiendo la funcionalidad que se la quiera dar, estas son:

- *Las antenas Omnidireccionales* son buenas para cubrir áreas grandes, la cual la radiación trata de ser pareja para todos lados es decir cubre 360°. Ejemplos de este tipo son las siguientes:

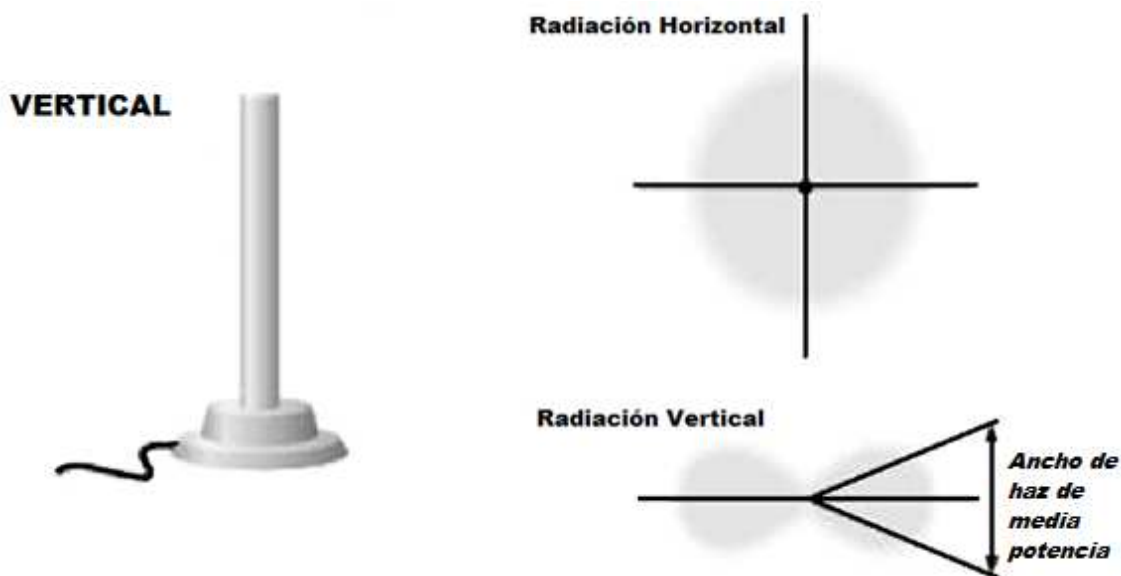


Figura 2. 1 Monopolo Vertical

- Es una antena constituida de un solo brazo rectilíneo irradiante en posición vertical. Podemos ver una antena vertical con Ganancias de 3 *dBi* hasta 17 *dBi*.
- El uso en VHF es principalmente para las aplicaciones de radio móvil en vehículos.
- En Monopolos de  $\frac{1}{4}$  de onda: la impedancia de la antena es de  $36\Omega$

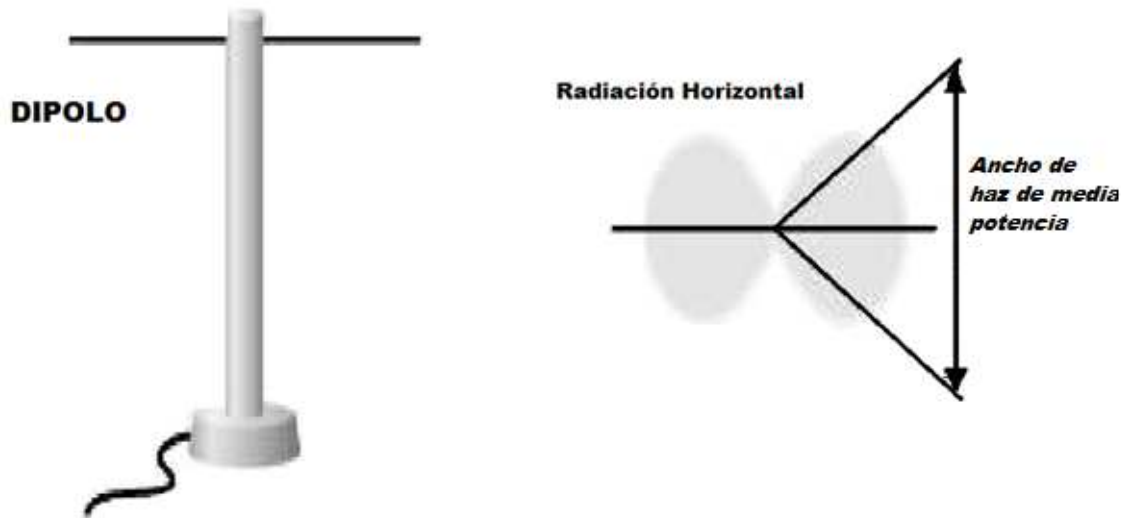


Figura 2. 2 Dipolo

- Usada en frecuencias arriba de  $2MHz$
  - Ganancia baja:  $2.2 dBi$
  - Angulo de radiación ancho
  - En el espacio ideal, la impedancia del dipolo simple es de  $73\Omega$
- *Las antenas Direccionales* son las mejores en una conexión Punto-a-Punto, acoplamientos entre los edificios, o para los Clientes de una antena omnidireccional. Ejemplos de este tipo son las siguientes:

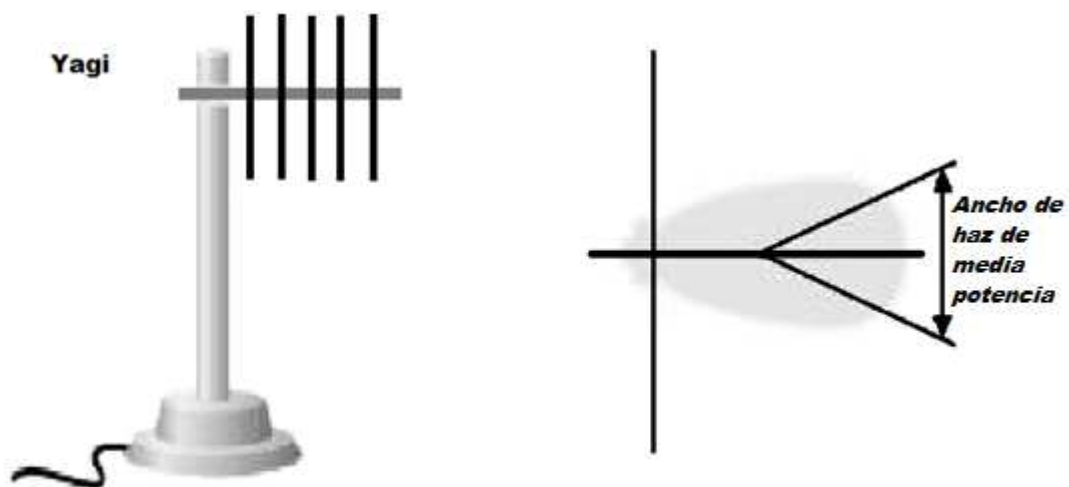


Figura 2. 3 Yagi

- Antena constituida por varios elementos paralelos y coplanarios, directores, activos y reflectores.
- Utilizada ampliamente en la recepción de señales televisivas, comúnmente en frecuencias de 30Mhz y 3Ghz.
- Ganancia elevada promedio de 8 a 15 dBi
- Para el servicio 802.11 pueden tener ganancias entre 12 a 18 dBi. Manejan una impedancia de 50 a 75  $\Omega$
- Desventajas: Direccionalas en la posición correcta no es tan difícil como una antena parabólica, pero aun así puede llegar a ser complicado.

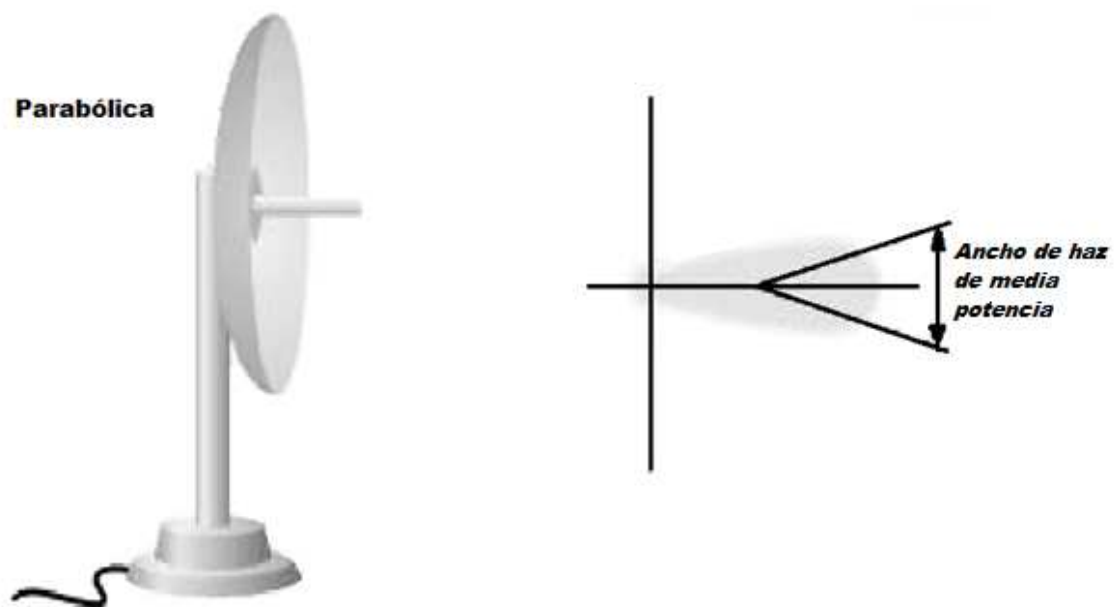


Figura 2. 4 Parabólica

- Antena provista de un reflector metálico, de forma parabólica, esférica o de bocina, que limita las radiaciones a un cierto espacio, concentrando la potencia de las ondas.
- Se utiliza especialmente para la transmisión y recepción vía satélite.
- Ganancia alta: 12 – 25 dBi.
- Directividad alta.
- Ángulo de radiación bajo.

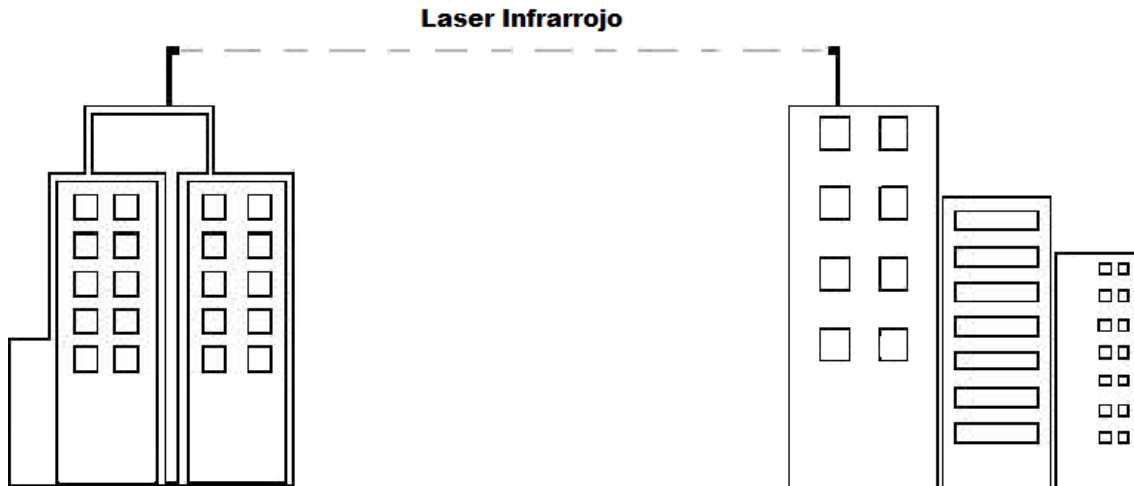


Figura 2. 5 Láser Infrarrojo

Los enlaces infrarrojos se encuentran limitados por el espacio y los obstáculos. El hecho de que la longitud de onda de los rayos infrarrojos sea tan pequeña ( $850 - 900 \text{ nm}$ ), hace que no pueda propagarse de la misma forma en que lo hacen las señales de radio.

### Patch Antenna o Panel



Figura 2. 6 Patch

- Panel o parche metálico radiante sobre un plano de tierra metálico.
- Normalmente planas, en encapsulado de PVC.
- Ganancia media-elevada:  $5 - 20 \text{ dBi}$ .
- Directividad moderada.
- Ángulo de radiación medio.



### Helicoidal (modo axial)

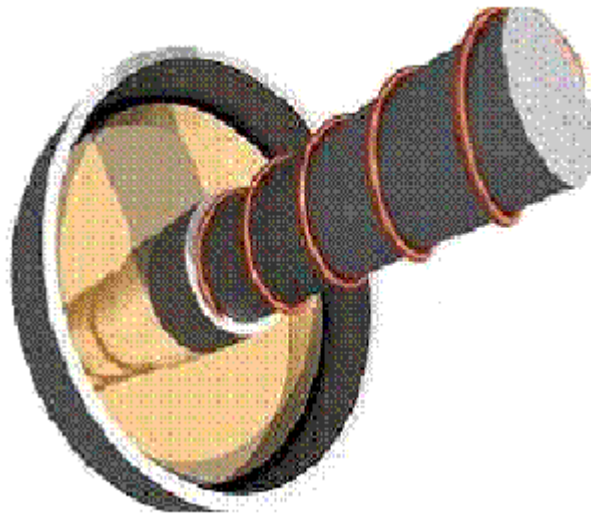


Figura 2. 7 Helicoidal

- Hilo conductor bobinado sobre un soporte rígido. Detrás plano de tierra.
- Ganancia media-elevada:  $6 - 18 \text{ dBi}$ .
- Directividad moderada.
- Ángulo de radiación medio.

### Microondas Terrestre



Figura 2. 8 Microondas Terrestre

- Microondas: rango de frecuencias comprendido entre 2 GHz y 40 GHz.
- Son altamente direccionales.
- Requieren antenas parabólicas en la recepción.
- Las antenas han de estar muy altas para evitar obstáculos.
- Constituyen una alternativa al cable coaxial y a la fibra óptica para comunicaciones a larga distancia.
- Otras aplicaciones: Transmisión de televisión y voz.

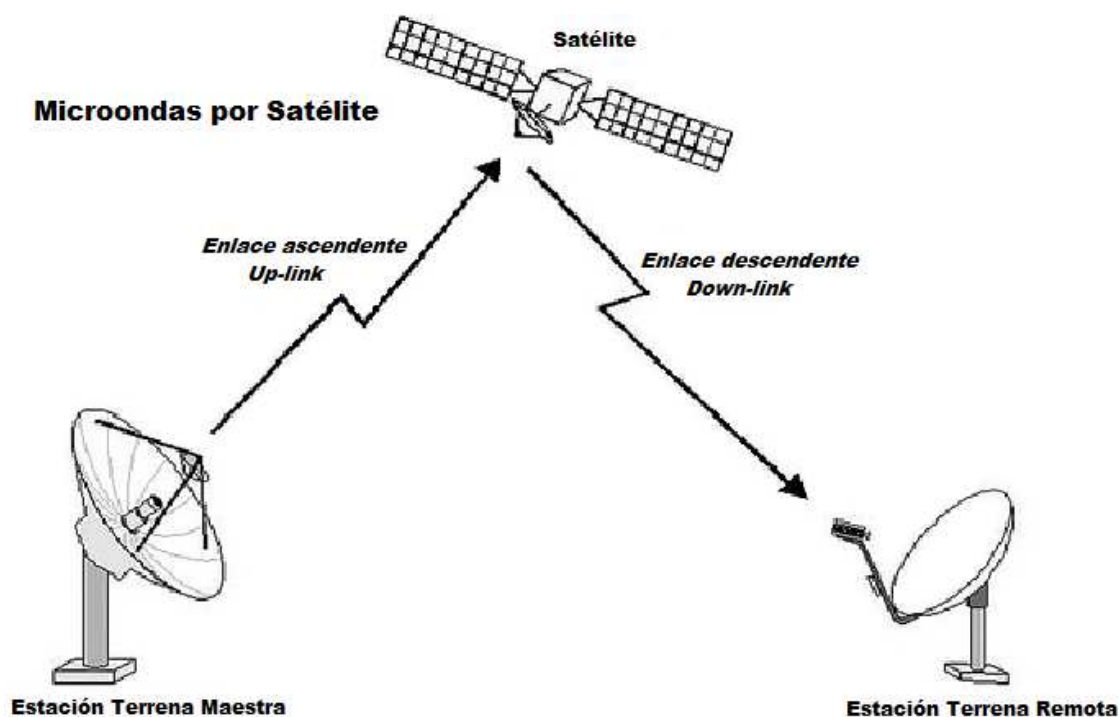


Figura 2. 9 Microondas Satelital

- Se usa un rango de frecuencias entre 1GHz a 50 Ghz.
- Los satélites
  - Reciben una señal terrestre.
  - La señal es amplificada o repetida.
  - Envían la señal a uno o varios receptores terrestres.
- Los satélites han de tener órbita geoestacionaria
  - A una distancia de 35784 km.
- Se producen retardos en las comunicaciones [4]
- Aplicaciones: Televisión, telefonía a larga distancia, redes privadas.

---

## 2.2. DISEÑO DE LAS ANTENAS

### 2.2.1. Consideraciones para Antena N°1

Considerando que se desea realizar pruebas de televisión digital en un espacio pequeño es necesario el diseño de antenas que sean cortas y con una buena ganancia. Gracias a una buena directividad, buenas características de radiación, fácil acoplamiento y una sencilla implementación, viendo las características de algunos tipos de antenas la más apropiada sería una Yagi-Uda. Como las longitudes y espaciamentos entre elementos son sacados de datos obtenidos a lo largo del tiempo de manera práctica y experimental así que veremos 2 maneras de diseñar este tipo de antenas, el primero es basado en fórmulas, sin embargo esta no implementaremos debido que es para un dipolo simple y para una mejor respuesta de la antena haremos con un dipolo doblado, de tal manera que implementaremos según el segundo diseño que es basado en un programa llamado QY4 basado en DOS el cual nos facilita los cálculos, tan solo se debe ir ajustando los datos hasta obtener las mejores características para nuestra antena.

Las características de operación de antenas Yagi alimentadas con un dipolo doblado no son exactamente iguales a las de antenas Yagi alimentadas con un dipolo recto. Aunque la forma de los patrones de radiación es muy similar para ambos casos, la ganancia y el ancho del haz principal son diferentes. Una Yagi alimentada con un dipolo doblado tiene 1 *dB* más de ganancia que una antena similar alimentada con un dipolo recto. Las principales diferencias de operación entre ambas antenas se muestran concentradas en la tabla 2.1.

Tabla 2. 1 Diferencias entre la operación de arreglos Yagi resonantes, alimentados con dipolos sencillos o doblados [4]

Tipo de Alimentación	Ganancia (dBi)	Corrientes	Ancho de haz de media potencia (HPBW) Plano H	Ancho de haz de media potencia (HPBW) Plano E
Dipolo sencillo	G	Máxima en el dipolo alimentado	HPBW	HPBW
Dipolo doblado coplanar (alim. izquierda)	G+0.6	Máxima en el reflector	HPBW+1.1°	HPBW+0.8°
Dipolo doblado coplanar (alim. derecha)	G+1	Máxima en el reflector	HPBW+1.2°	HPBW+1.0°
Dipolo doblado transversal	G+1	Máxima en el reflector	HPBW+2.8°	HPBW+0.4°

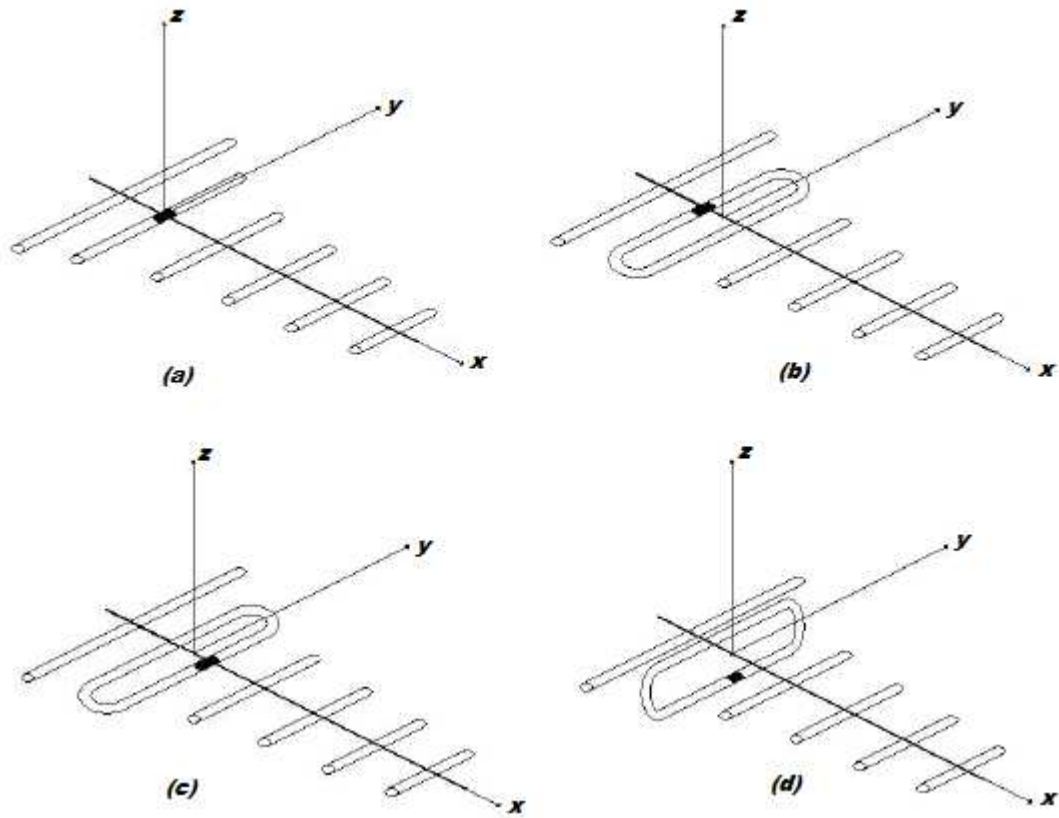


Figura 2. 10 Configuraciones de arreglos Yagi para el caso de 6 elementos: a) Alimentación con dipolo recto sencillo, b) Alimentación con dipolo doblado coplanar y con la línea de transmisión conectada del lado izquierdo, c) Alimentación con dipolo doblado coplanar

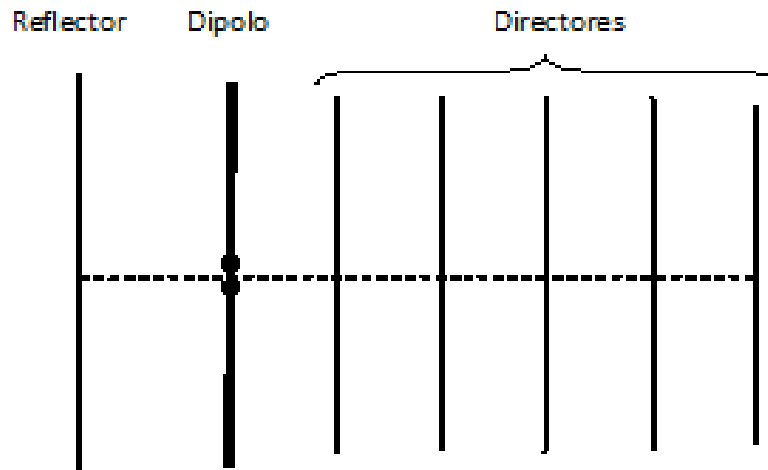


Figura 2. 11 Arreglo Yagi-Uda

### 2.2.2. Cálculos para Antena N°1

Antena UHF

$$f_i = 681.25\text{MHz}$$

$$f_o = 685.75\text{MHz}$$

#### Número de elementos

Para determinar el número de elementos se tienen varios métodos, uno de ellos es por medio de la ganancia que se puede ver en la curva a continuación:

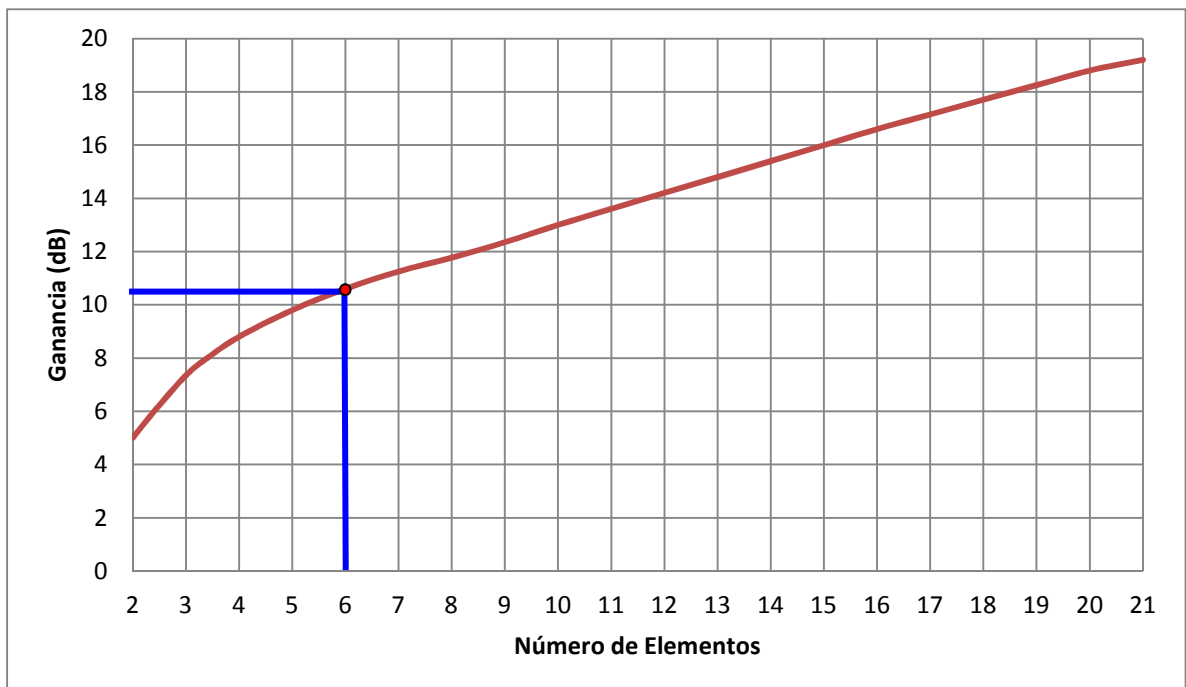


Figura 2. 12 Ganancia en dB en función del número de elementos

La eficiencia es otro factor que se asume conocido, así que se puede también considerar esta o considerar el número de elementos en función de la relación frente espalda (F/B):

Tabla 2. 2 Número de elementos en función relación frente-espalda y eficiencia

Número de elementos	Relación F/B (dB)	Eficiencia (%)
4	7.3	99.0
5	8.6	98.9
6	9.7	98.8
7	10.6	98.7
8	11.3	98.6
9	11.6	98.6
10	11.9	98.7
11	12.2	98.6
12	12.5	98.6
13	12.8	98.6
14	13.2	98.6
15	13.5	98.5
16	13.9	98.5
17	14.3	98.5
18	14.7	98.5
19	15.0	98.4
20	15.3	98.4

Otro medio de cálculo es mediante el ancho del lóbulo principal de media potencia conocido también como ancho de haz:

Tabla 2. 3 Número de directores en función del ancho del haz

Número de Directores	Ancho de haz de media potencia (°)
4	46
9	37
13	31
20	26
30	22

Considerando el ancho de haz de media potencia ( $46^\circ$ ), la eficiencia (98.8%), la relación F/B (9.7 dB) y la ganancia (10.7 dB) se elige diseñar una antena de 6 elementos, cuyas longitudes y separaciones son las que se calculará a continuación y el cual constituirá el primer método de diseño el cual es analítico y para un dipolo recto [5] :

**Longitudes (frecuencia en MHz):**

$$\begin{aligned} \text{Reflector: } \quad \frac{\lambda}{2} &= \frac{150}{f} [m] & (2.1) \\ &= \frac{150}{683.5} [m] \\ &= 0.219 [m] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dipolo: } \quad 0.95 \frac{\lambda}{2} &= \frac{142.4}{f} [m] & (2.2) \\ &= \frac{142.4}{683.5} [m] \\ &= 0.208 [m] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{1er. Director: } \quad 0.9 \frac{\lambda}{2} &= \frac{135}{f} [m] & (2.3) \\ &= \frac{135}{683.5} [m] \\ &= 0.197 [m] \end{aligned}$$

$$\text{Directores: } \quad m: 0.900 \frac{\lambda}{2} = \frac{135}{f} [m] \quad (2.4)$$

$$n: 0.885 \frac{\lambda}{2} = \frac{133}{f} [m] \quad (2.5)$$





**Separación:**

$$\text{Dipolo – Reflector: } 0.18\lambda = \frac{54}{f}[m] \quad (2.9)$$

$$= \frac{54}{683.5}[m]$$

$$\boxed{= 0.079[m]}$$

$$\text{Dipolo – 1er. Director: } 0.09\lambda = \frac{27}{f}[m] \quad (2.10)$$

$$= \frac{27}{683.5}[m]$$

$$\boxed{= 0.039[m]}$$

$$\text{Directores consecutivos: } 0.18\lambda = \frac{54}{f}[m] \quad [6] \quad (2.11)$$

$$= \frac{54}{683.5}[m]$$

$$\boxed{= 0.079[m]}$$

A continuación se procederá a realizar el diseño de la antena mediante el software QY4 que puede ser descargado de <http://www.raibeam.com/wa7rai.html> en el cual se procederá de la siguiente manera:

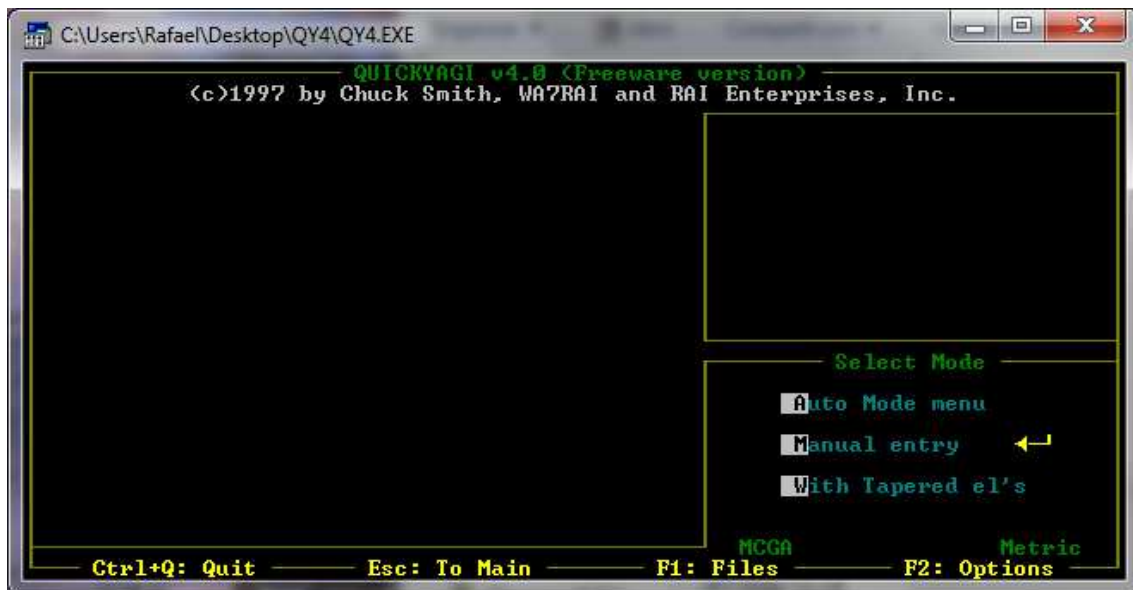


Figura 2. 13 Pantalla inicial QY4 para selección modo de diseño

Se tienen 3 opciones de la cual seleccionamos *Auto Mode menu* para que el programa nos de las dimensiones requeridas para la implementación.



Figura 2. 14 Pantalla QY4 de opciones de menú de modo automático de diseño

Tenemos varias opciones para el diseño, ya sea ingresando datos conocidos de espacio entre elementos o longitudes, longitudes por default del programa o diseño automático, así que seleccionaremos la cuarto opción *Auto-design a Yagi*.



Figura 2. 15 Pantalla QY4 de opciones para diseño automático de una antena Yagi

Se tienen dos opciones, la primera para optimizar el espacio y la segunda para dar un máximo ancho de banda y relación frente espalda, así que seleccionamos *Max FB & BandWidth*.

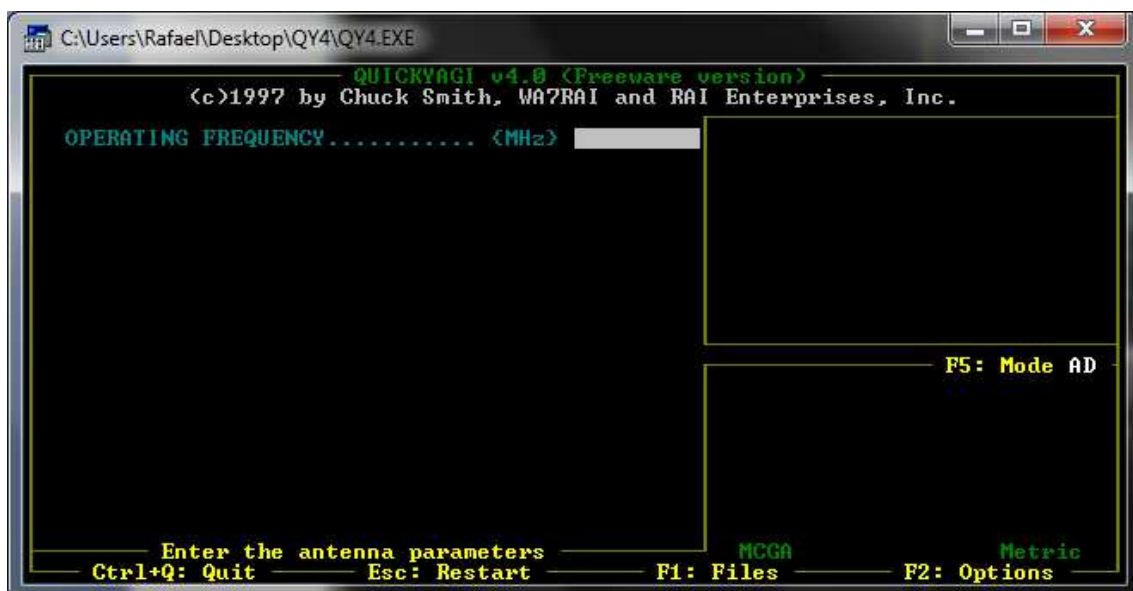


Figura 2. 16 Pantalla QY4 de ingreso de la frecuencia central de la antena Yagi a diseñar

Se debe ingresar la frecuencia central de la cual deseamos realizar el diseño.

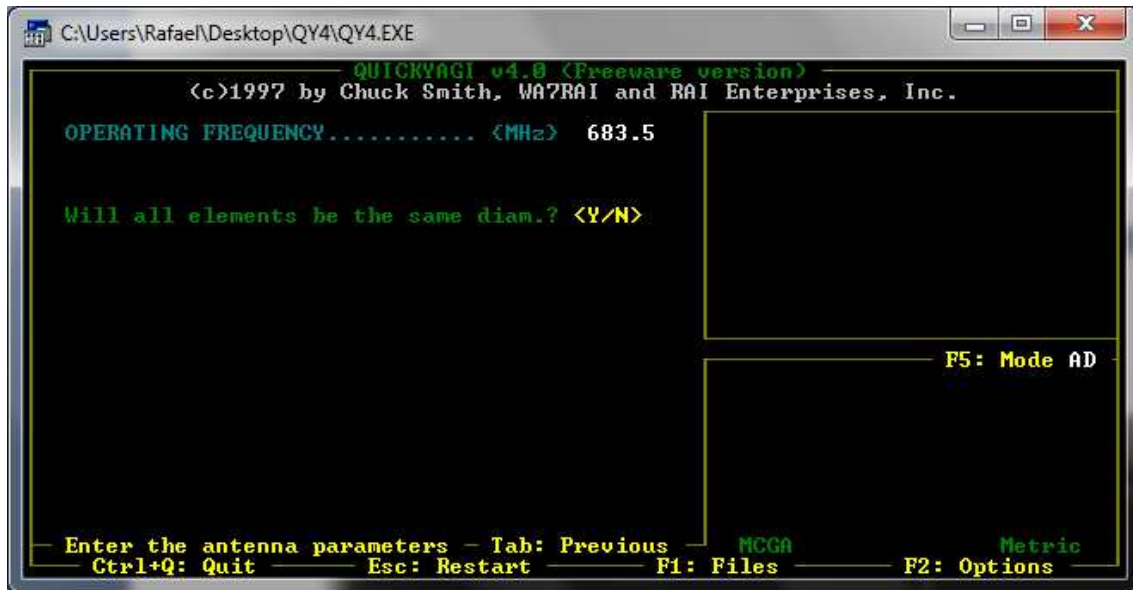


Figura 2. 17 Pantalla QY4 de selección si todos los elementos tendrán el mismo diámetro

Ingresamos si todos los elementos van a tener el mismo diámetro, esto dependerá del material que se vaya a usar si es igual para todo, en nuestro caso se ingresará Y.

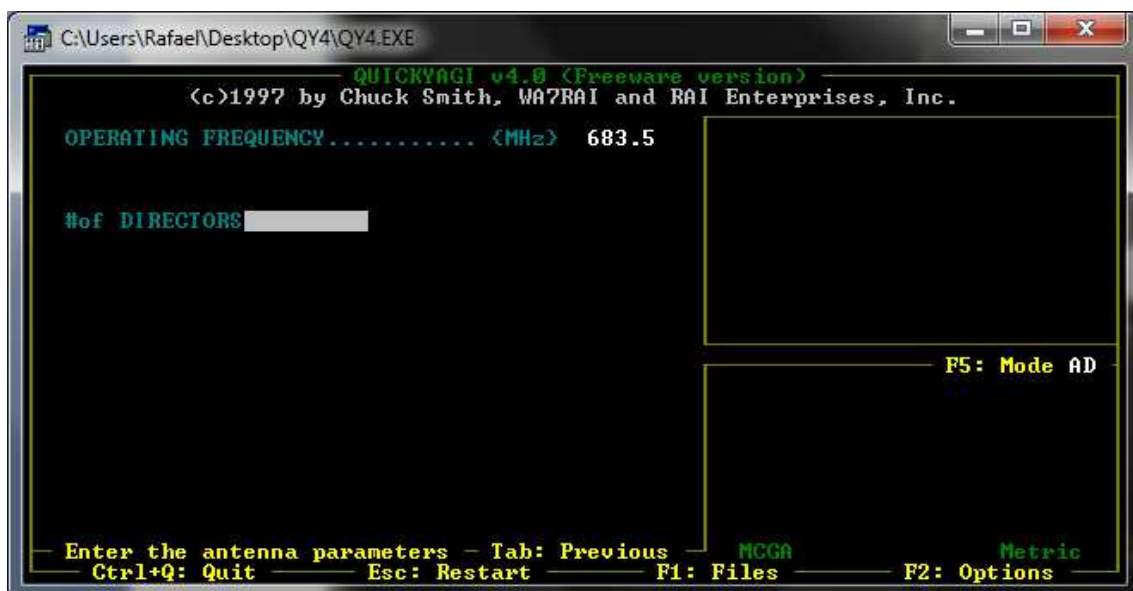


Figura 2. 18 Pantalla QY4 ingreso del número de directores de la antena

Dependiendo del número de elementos que vayamos a diseñar la antena ingresamos el número de directores que esta tiene, en este caso será 4

para tener características similares a los datos obtenidos en los cálculos y según las tablas de información conocidas experimentalmente.

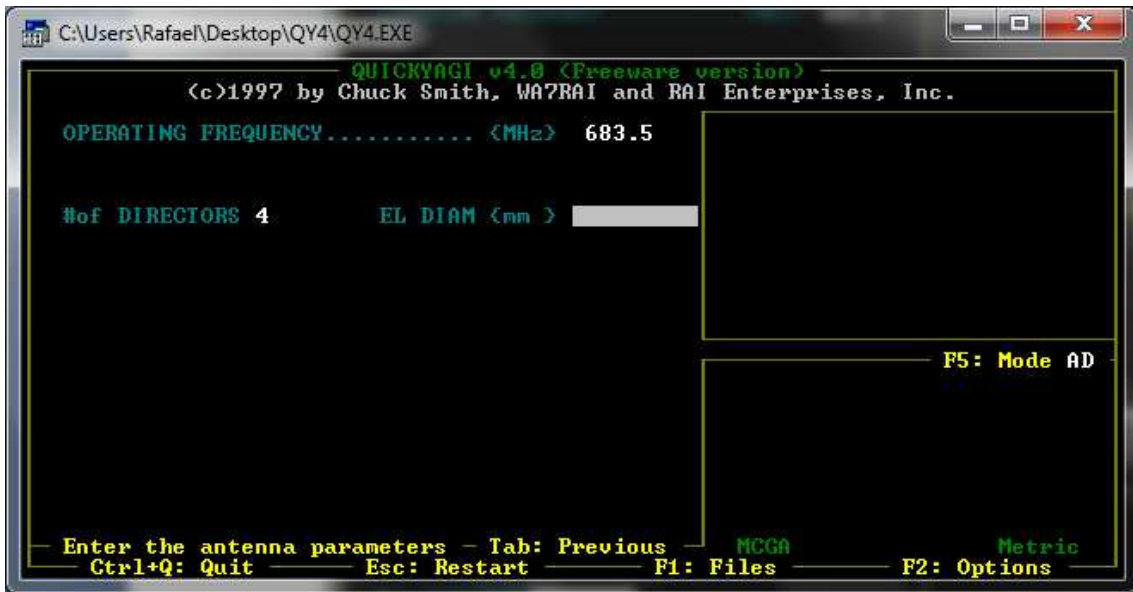


Figura 2. 19 Pantalla QY4 ingreso del diámetro de los elementos

Se ingresa el valor del diámetro en milímetros de los elementos de la antena el cual depende del material que se va a usar.

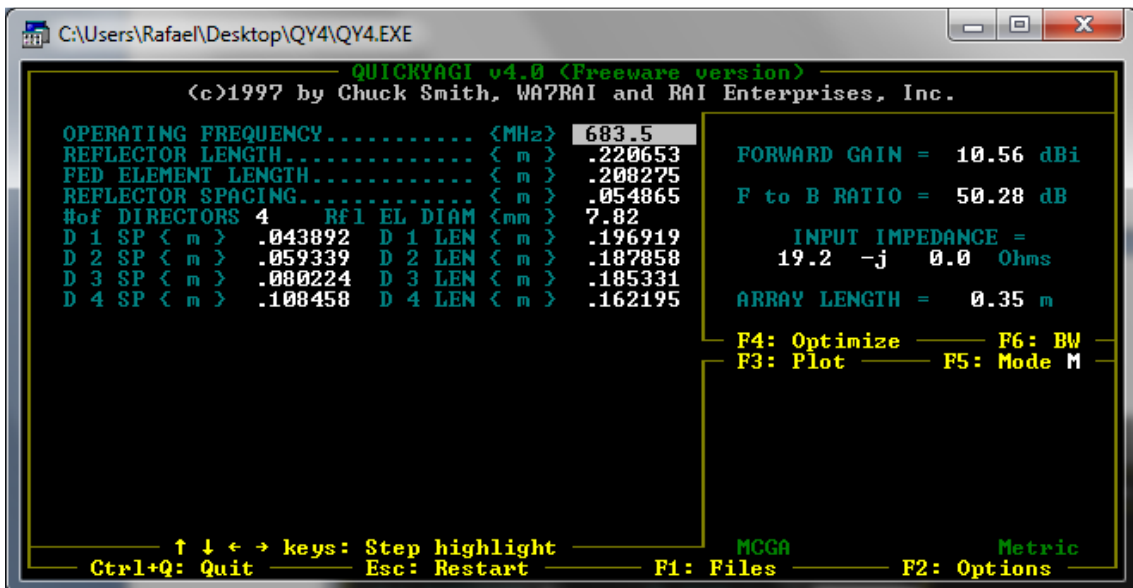


Figura 2. 20 Pantalla QY4 primer diseño generado por el software

El software nos da como resultado un diseño, sin embargo la impedancia de este está basada en un dipolo recto, así que se debe cambiar a un dipolo doblado así que para hacerlo presionamos *F2: Options*.

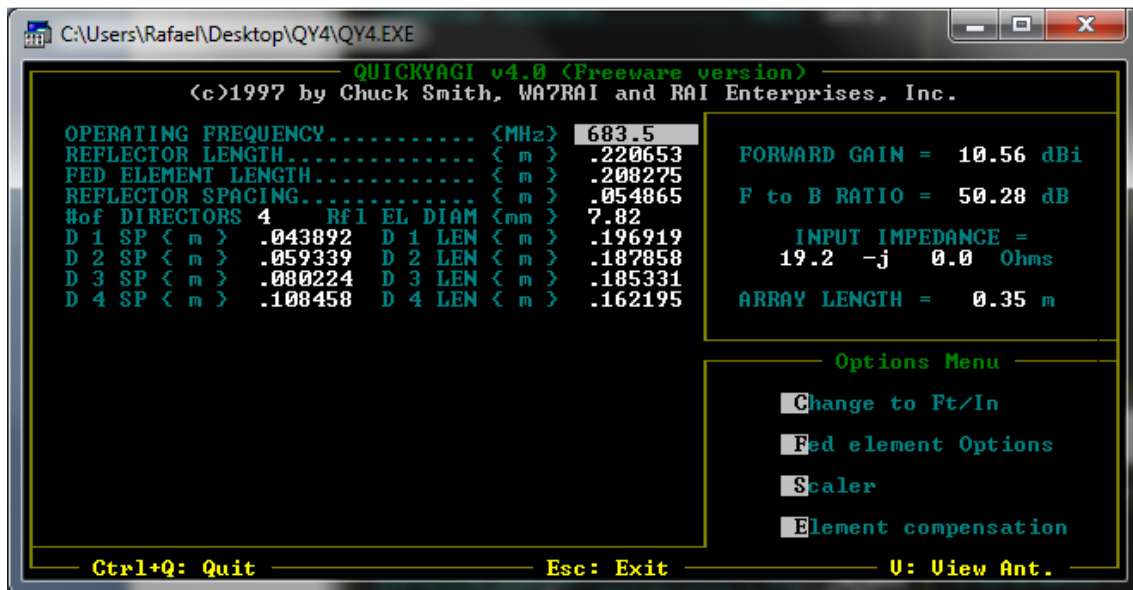


Figura 2. 21 Pantalla QY4 del menú de opciones del diseño

Aparecerán varias opciones para las características de nuestra antena, pero la que nos interesa es *Fed element Options* el cual es las opciones el elemento de alimentación de tal manera que seleccionamos la opción *F*.



Figura 2. 22 Pantalla QY4 diferentes tipos de dipolo

Aparecen 2 opciones, *Simple dipole* (opción *S*) la cual es la opción de diseño por default siendo el dipolo recto o *Folded dipole* (opción *F*) el cual es el dipolo doblado que nos interesa para nuestro diseño debido que nuestra antena tendrá mejores características.

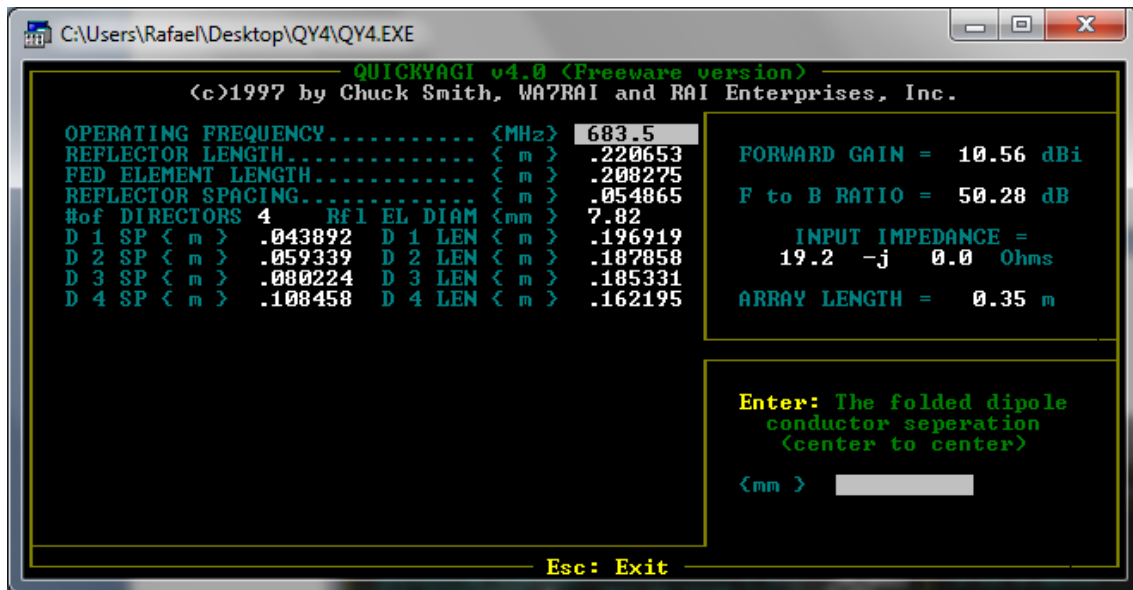


Figura 2. 23 Pantalla QY4 ingreso de separación del dipolo doblado

Se debe ingresar la separación en milímetros del centro al otro centro del dipolo doblado como se ve en la figura 2.24.

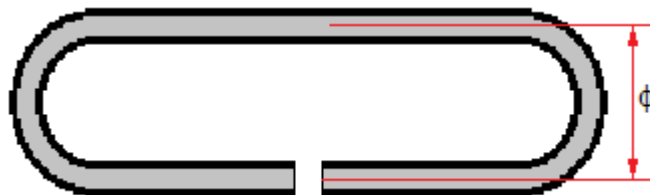


Figura 2. 24 □ Separación a considerar en el dipolo doblado para ingresarlo en QY4





Figura 2. 25 Pantalla QY4 con la separación del dipolo doblado



Figura 2. 26 Pantalla QY4 resultado de diseño al cambiar a dipolo doblado

De este modo el software nos genera las dimensiones de nuestro diseño, sin embargo como se observa no da una impedancia compleja por lo cual debemos optimizar el diseño hasta lograr una impedancia lo más cercana a  $100\Omega$  por ser un dipolo doblado y esa su impedancia característica. Así que seleccionamos *F4: Optimize* para que este diseño llegue a la

impedancia deseada y así tendremos las dimensiones para su posterior implementación.

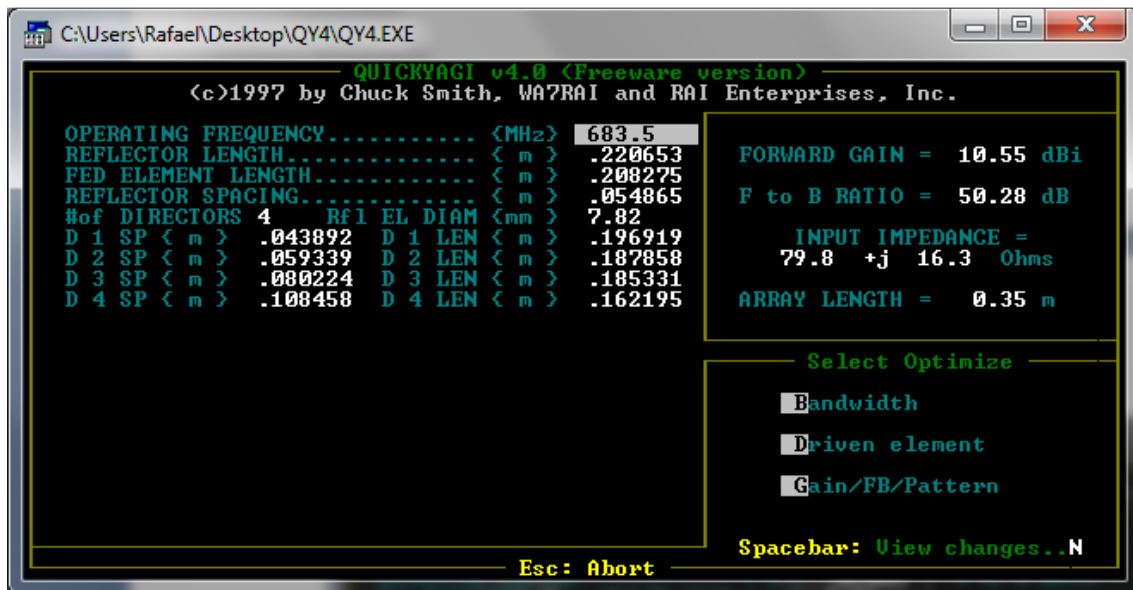


Figura 2. 27 Pantalla QY4 optimización de diseño con dipolo doblado

Al optimizar aparecerán diversas opciones que podemos mejorar en nuestra antena: Ancho de banda (*Bandwidth*), Elemento activo (*Driven element*) o Ganancia/Frente-Espalda/Patrón de radiación (*Gain/FB/Pattern*). En este caso seleccionaremos *G*.

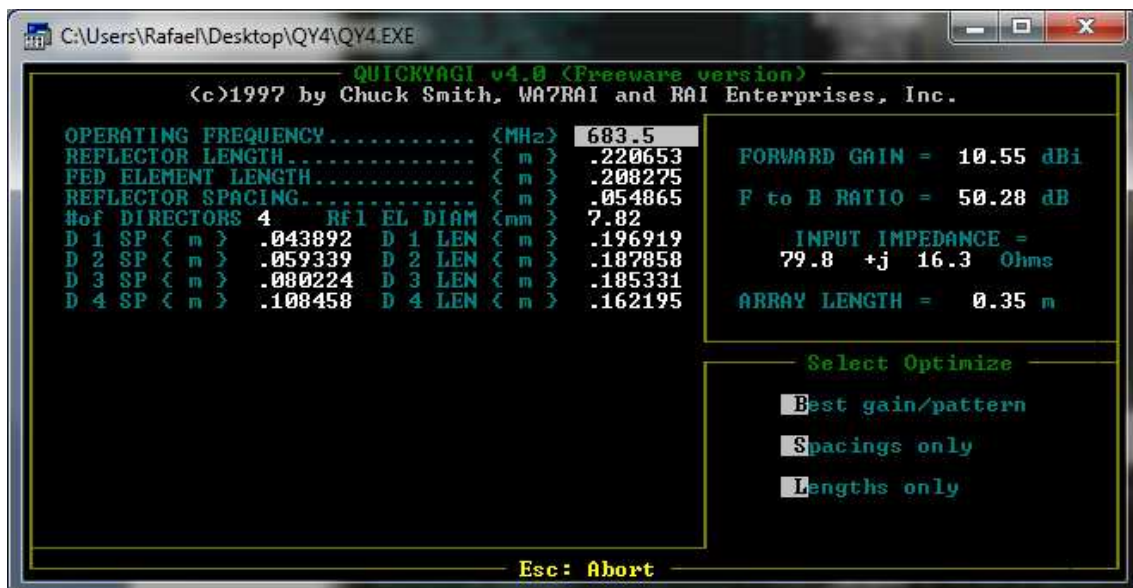


Figura 2. 28 Pantalla QY4 optimización de la Ganancia/Frente-Espalda/Patrón de radiación

Para optimizar la Ganancia/Frente-Espalda/Patrón de radiación se puede selecciones entre 3 opciones que nos ayudará a este resultado, se selecciona Mejor ganancia/patrón de radiación (*Best gain/pattern*) la opción *B*.



Figura 2. 29 Pantalla QY4 valores de relación frente espalda para optimización

Se tendrá 3 opciones a seleccionar para la relación frente-espalda (F/B) con lo que se escogerá la mayor relación, alternativa *A*.

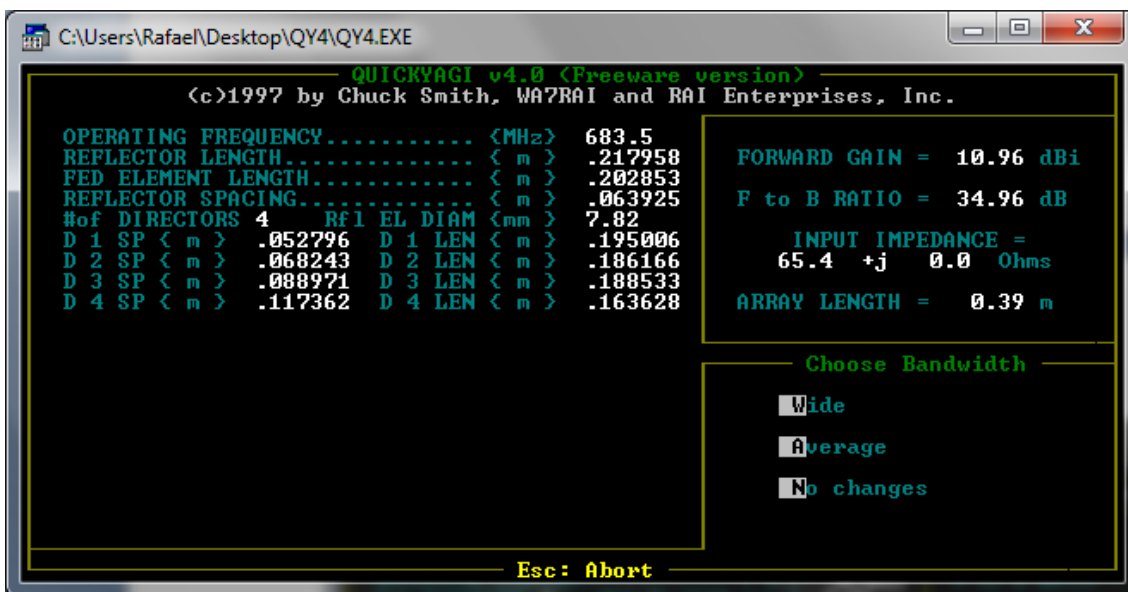


Figura 2. 30 Pantalla QY4 selección tipo de ancho de banda

Una vez hecha la selección nuestra impedancia cambiará y se desplegarán opciones para nuestro ancho de banda: Amplio Ancho de Banda (*Wide*), Ancho de Banda Promedio (*Avarage*) o sin cambios (*No changes*). Podemos seleccionar cualquiera de estas opciones para seguir variando la impedancia hasta la deseada.



Figura 2. 31 Pantalla QY4 con la primera optimización hecha

Lo que se hace a continuación es seguir manipulando las opciones de optimización (*F4: Optimize*) hasta llegar al valor de impedancia deseado.

```

QUICKYAGI v4.0 (Freeware version)
(c)1997 by Chuck Smith, WA7RAI and RAI Enterprises, Inc.

OPERATING FREQUENCY..... {MHz} 683.5
REFLECTOR LENGTH..... { m } .212958
FED ELEMENT LENGTH..... { m } .194531
REFLECTOR SPACING..... { m } .099185
#of DIRECTORS 4      Rfl EL DIAM {mm} 7.82
D 1 SP { m } .078092  D 1 LEN { m } .187543
D 2 SP { m } .097572  D 2 LEN { m } .181874
D 3 SP { m } .112703  D 3 LEN { m } .180205
D 4 SP { m } .146990  D 4 LEN { m } .172704

FORWARD GAIN = 11.82 dBi
F to B RATIO = 44.89 dB

INPUT IMPEDANCE =
100.0 -j 0.0 Ohms

ARRAY LENGTH = 0.53 m

F4: Optimize      F6: BW
F3: Plot          F5: Mode M

↑ ↓ ← → keys: Step highlight      MCGA      FD Metric
Ctrl+Q: Quit      Esc: Restart      F1: Files      F2: Options

```

Figura 2. 32 Pantalla QY4 dimensiones del diseño final antena Yagi

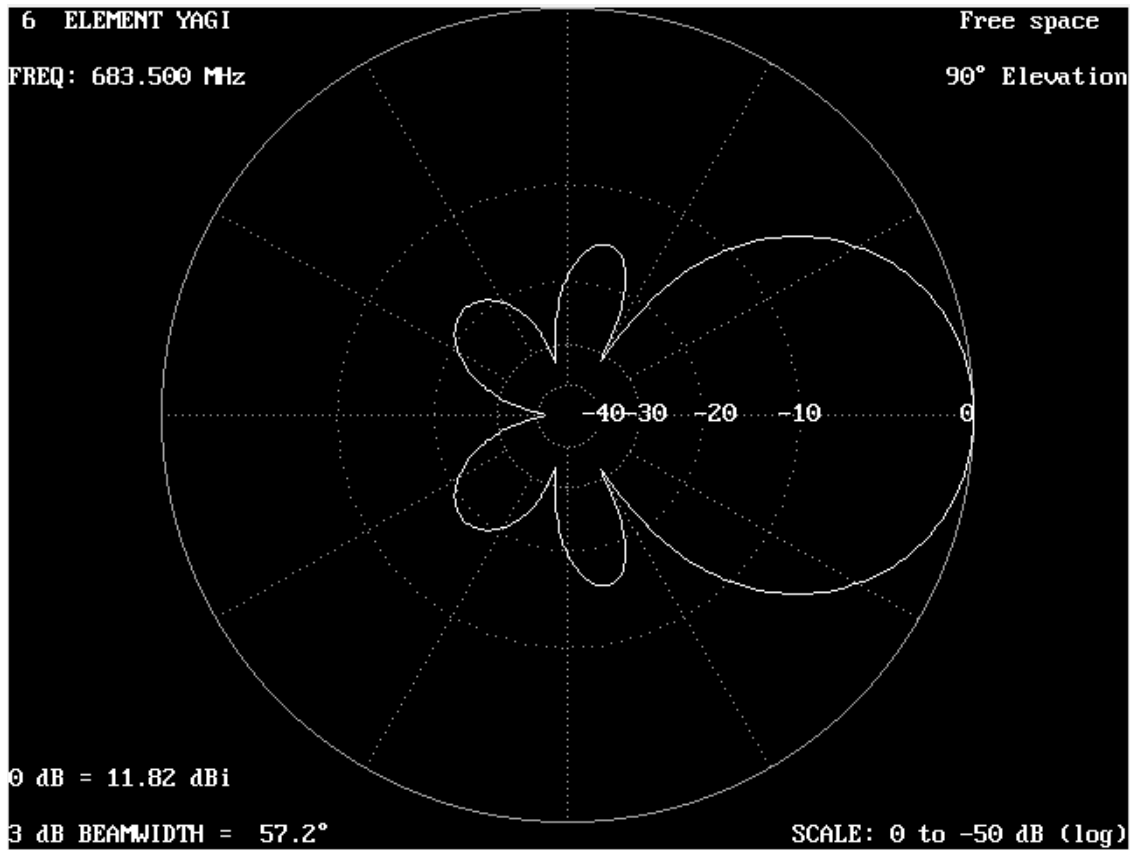


Figura 2. 33 Patrón de Radiación antenna diseñada

QUICKYAGI v4.0 (Freeware version)						
Freq.(MHz)	Gain(dBi)	F/B(dB)	Input res. & react.(Ω)		USWR	
692.044	12.192	20.610	85.052	+j 28.86	1.42:1	
691.189	12.159	21.615	86.284	+j 25.55	1.37:1	
690.335	12.124	22.741	87.592	+j 22.33	1.31:1	
689.481	12.089	24.022	88.968	+j 19.20	1.26:1	
688.626	12.052	25.508	90.408	+j 16.16	1.22:1	
687.772	12.015	27.281	91.905	+j 13.22	1.18:1	
686.918	11.977	29.481	93.453	+j 10.38	1.14:1	
686.063	11.939	32.384	95.047	+j 7.63	1.10:1	
685.209	11.900	36.654	96.680	+j 4.98	1.06:1	
684.354	11.862	44.376	98.346	+j 2.43	1.03:1	
683.500	11.823	44.821	100.040	-j 0.02	1.00:1	
682.646	11.784	37.002	101.755	-j 2.38	1.03:1	
681.791	11.745	32.756	103.484	-j 4.64	1.06:1	
680.937	11.706	29.918	105.222	-j 6.80	1.09:1	
680.083	11.668	27.796	106.962	-j 8.86	1.11:1	
679.228	11.629	26.108	108.698	-j 10.83	1.14:1	
678.374	11.591	24.709	110.424	-j 12.71	1.17:1	
677.519	11.554	23.517	112.133	-j 14.49	1.19:1	
676.665	11.517	22.480	113.820	-j 16.18	1.22:1	
675.811	11.480	21.564	115.478	-j 17.78	1.24:1	
674.956	11.444	20.744	117.101	-j 19.29	1.27:1	

P: Print      G: Graph      B: BW Plot      Esc: Exit

Figura 2. 34 Valores de respuesta de la antenna diseñada según la frecuencia

Tabla 2. 5 Resultados obtenidos mediante cálculos analíticos y software

<b>Elemento</b>	<b>Analítico (cm)</b>	<b>Software QY4 (cm)</b>
Reflector	21.9	21.29
Dipolo	20.8 (Recto)	19.45 (Doblado)
1° director	19.7	18.75
2° director	19.4	18.18
3°director	19	18.02
4°director	18.9	17.27
Separación Reflector-Dipolo	7.9	9.92
Separación Dipolo-1° director	3.9	7.81
Separación 1° director-2° director	7.9	9.76
Separación 2° director-3° director	7.9	11.27
Separación 3° director-4° director	7.9	14.7

### 2.2.3. Implementación Antena N°1

#### Materiales

- Alambre de aluminio
- Cable RG-58
- Conector SMA
- Tubo ¾ redondo
- Metro
- Sierra
- Lima
- Nonio
- Masilla epóxica

- Cinta adhesiva.

### Cable

Para este tipo de implementaciones a altas frecuencias se usa generalmente los cables coaxiales.

El cable coaxial es utilizado para transportar señales eléctricas de alta frecuencia que posee dos conductores concéntricos, uno central, llamado *Núcleo*, encargado de llevar la información, y uno exterior, de aspecto tubular, llamado *malla o blindaje*, que sirve como referencia de tierra y retorno de las corrientes.

Entre ambos se encuentra una capa aislante llamada *dieléctrico*, de cuyas características dependerá principalmente la calidad del cable.

Todo el conjunto suele estar protegido por una cubierta aislante, como se observa en la Figura 2.35.

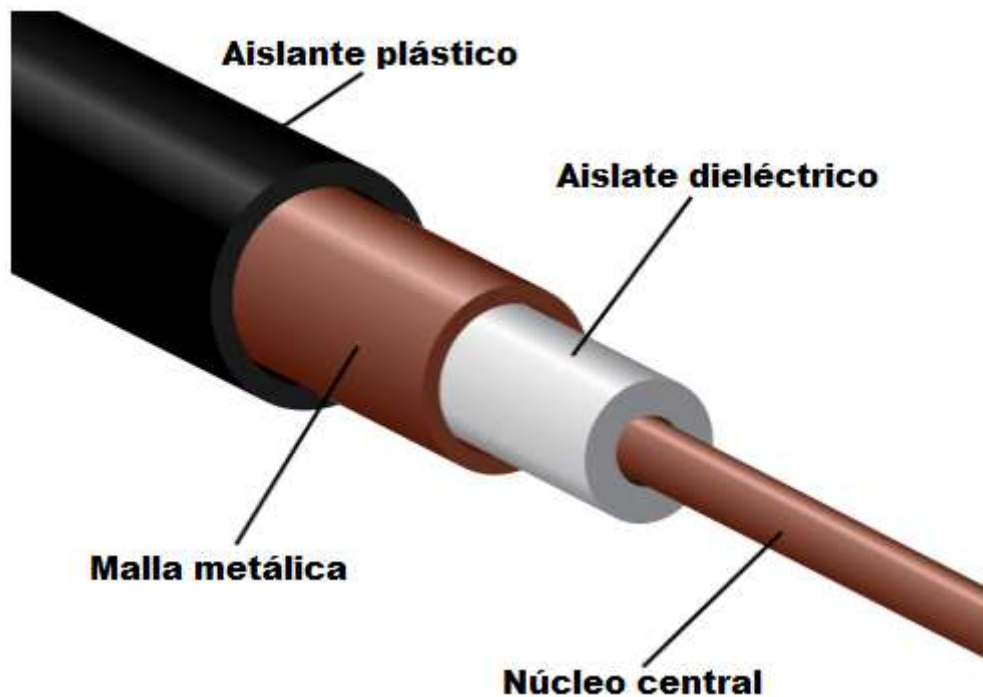


Figura 2. 35 Estructura general cable coaxial



La mayoría de los cables coaxiales tienen una impedancia característica de 50, 52, 75, o 95  $\Omega$ . La industria de RF usa nombres de tipo estándar para cables coaxiales.

Existen varios tipos de cables coaxiales, con diferentes características, como se muestra en la Tabla 2.6. [7]

Tabla 2. 6 Tipos de cables coaxiales

Cable	Ohm	Diámetro (pulgadas)	Pérdida / pie 1 GHz dB	Pérdida / pie 6 GHz dB	Frecuencia Máxima Recomendada (GHz)	Factor de velocidad
<b>RG58</b>	50	0.195	0.15	0.42	1 GHz	0.77
<b>RG174</b>	50	0.11	0.34	0.9	3 GHz	0.66
<b>RG178</b>	50	0.08	0.45	NR	3 GHz	0.66
<b>RG214</b>	50	0.425	0.07	0.3	11 GHz	0.66
<b>RG223</b>	50	0.212	0.145	0.37	12.4 GHz	0.66
<b>RG316</b>	50	0.098	0.29	0.69	3 GHz	0.66
<b>LMR20 0</b>	50	0.200	0.105	0.27	6 GHz	0.83
<b>LMR24 0</b>	50	0.240	0.08	0.22	6 GHz	0.66
<b>LMR40 0</b>	50	0.400	0.04	0.11	10 GHz	0.85
<b>LMR60 0</b>	50	0.590	0.027	0.075	6 GHz	0.87
<b>HF086</b>	50	0.104	0.23	0.6	18 GHz	--
<b>HF141</b>	50	0.163	0.13	0.35	18 GHz	--

### **Ventajas del cable coaxial**

- Tienen un bajo costo y simple instalación
- Banda ancha con una capacidad de 10 Mb/seg.
- Tiene un alcance de 1-10kms con bajas pérdidas

### **Desventajas del cable coaxial**

- Ofrece poca inmunidad a los ruidos, puede mejorarse con filtros.
- El ancho de banda puede trasportar solamente un 40 % del total de su carga para permanecer estable.
- Dependiendo del tipo de cable el acople con sus respectivos conectores debe ser preciso, pues de lo contrario existirán pérdidas

Debido a la necesidad de manejar frecuencias cada vez más altas y a la digitalización de las transmisiones, en años recientes se ha sustituido paulatinamente el uso del cable coaxial por el de fibra óptica, en particular para distancias superiores a varios kilómetros, porque el ancho de banda de esta última es muy superior. [8]

### **Conectores**

El conector RF, consiste en un dispositivo eléctrico o electrónico pasivo, diseñado para operar a frecuencias que están dentro del rango de los Multi-Megahertz. Este tipo de conectores, son comúnmente usados con cables coaxiales y son construidos para mantener la protección que el cable coaxial ofrece y la integridad de la conexión como tal. Básicamente por medio de los conectores RF, podemos unir un cable ya sea a otro cable o a un componente compatible con RF.



Los conectores RF proveen una forma viable y sencilla de conectar los cables coaxiales entre sí o con otros dispositivos. Además de esto, son muy buenos para mantener el blindaje de los cables y proteger la conexión. Es decir, que ayudan a minimizar la varianza de la transmisión en el punto de conexión, manteniendo así la calidad de los datos que llegan al punto de recepción. Existe una amplia variedad de tamaños que dependen del tipo de mecanismo utilizado y del tipo de conector, o sea que es posible encontrar conectores RF relativamente pequeños o grandes.

Por muchas razones y teniendo en cuenta las necesidades que van surgiendo como consecuencia del desarrollo tecnológico, los fabricantes de equipos emplean aquellos que consideran los más convenientes, lo que conlleva a la existencia de una gran variedad de alternativas cuando debemos tomar la decisión de cuál es el tipo que se acomoda más a nuestras necesidades y recursos según sea el caso, por ejemplo para conectar nuestro equipo a su antena.

Los conectores tienen una gran cantidad de aplicaciones, pueden ser usados para casi todo tipo de medio de comunicación en

---

electrónica. Dentro de las aplicaciones más comunes están: la instalación y conexión de servicios de televisión por cable, telecomunicaciones, las transmisiones de radio (antenas), Wi-Fi, los módems de cable para la conexión a Internet, redes de ordenadores, algunas aplicaciones en aviación y en el campo militar y en general, para cualquier equipo de prueba electrónico. De esta forma los conectores RF están disponibles como tipos estándar, miniatura, miniatura-subtipo y de precisión.

Como se ha mencionado, debido a la gran variedad de aplicaciones de estos dispositivos, existen diversos aspectos que varían entre un conector a otro. Básicamente las características que se deben considerar son dos; las mecánicas y las eléctricas. Dentro de las características mecánicas de un conector se encuentran, las condiciones ambientales que puede soportar, el material de construcción y de recubrimiento, su rigidez mecánica y su tamaño. Mientras que desde el punto de vista eléctrico, se consideran, su impedancia y las pérdidas de inserción principalmente, siendo esta última de suma importancia frente a los demás aspectos.

Desde el punto de vista de la ingeniería, elegir un conector RF que satisfaga completamente tanto las condiciones mecánicas como las eléctricas según la situación, sería la elección más beneficiosa, sin embargo, no siempre vamos a disponer del conector que satisfaga totalmente nuestras exigencias, ya sea por la disponibilidad o por el precio, y por lo tanto nos veremos obligados a sacrificar una o varias de ellas, o incluso recurrir a soluciones alternativas como por ejemplo, usar en exteriores un conector que ha sido diseñado para interiores, protegiéndolo adecuadamente para enfrentar las condiciones ambientales. No obstante, en muchos países del primer mundo decisiones como estas, son inaceptables, por considerar, que su diseño ha sido para una especificación en particular y no para otra. Entonces, para la

---

elección del conector apropiado debemos seguir los siguientes pasos:

Primero, tener en cuenta el género, ya que la mayoría de los conectores poseen un género bien preciso, que consiste en una clavija en el extremo que se asocia al macho o una toma en el extremo que se une a la hembra. Casi siempre, los cables tienen conectores macho en sus dos extremos y los dispositivos de RF, (transmisores y antenas) conectores hembra. Los acopladores direccionales y dispositivos de medición de línea, pueden tener conectores macho y hembra. Se debe estar seguro que cada conector macho en un sistema coincida con uno hembra.

El segundo aspecto a considerar, es la cantidad. Para nosotros como ingenieros electrónicos, optimizar es una palabra clave. Es decir, que para estos casos nuestro objetivo va a ser, minimizar el número de conectores y adaptadores en la cadena de RF, debido a que cada conector introduce pérdidas adicionales, que consisten en hasta unos pocos dB por cada conexión, dependiendo del tipo de conector.

El tercer aspecto a considerar, es la elaboración de la conexión. Para estos casos siempre es mejor comprar los cables que ya estén terminados con los conectores que se van a necesitar. Ya que soldar los conectores no es nada fácil, y cuando se trata de conectores pequeños, hacerlo bien, es una tarea casi imposible.

Para los conectores de microondas hay que tener en cuenta varias recomendaciones, puesto que son componentes de precisión y se pueden averiar fácilmente si se manipulan de una forma incorrecta. Como regla general, se debe rotar la manga exterior para apretar el conector, dejando el resto del conector y el cable quietos. Si se tuercen otras partes de conector mientras estamos

---

ajustándolo o aflojándolo, es muy probable que las mismas se rompan.

Para el cuidado de las conexiones debemos seguir las siguientes recomendaciones: nunca pisarlos y no dejarlos caer cuando se desconecten los cables.

Un último aspecto a considerar, es que nunca se deben utilizar herramientas como pinzas para apretar los conectores. La manera correcta de hacerlo es con las manos. Cuando se trabaja en exteriores se debe tener en cuenta que los metales se expanden a altas temperaturas y reducen su tamaño a bajas temperaturas, lo que significa que un conector muy apretado puede dilatarse en el verano o quebrarse en el invierno.

Por lo mencionado anteriormente, calificar un conector como bueno, malo o que no debe utilizarse, no es recomendable, dado que le estaríamos dando una característica que básicamente no posee. Lo ideal, sería distinguirlo como adecuado o no adecuado para una estipulada situación o aplicación. [9]

En este caso se empleará para nuestro fin un conector SMA (*SubMiniature* versión A)

Es un tipo de conector roscado para cable coaxial utilizado en microondas, se utiliza en frecuencia de hasta 33 GHz

Tienen una impedancia característica de  $50 \Omega$ , llegando a una relación de onda estacionaria (VSWR) tan baja como 1:1.5, estos conectores generalmente llevan un acabado en oro para evitar la oxidación.

Existen multitud de variaciones de este tipo de conector, para cable o para placa, con salidas rectas o en ángulo recto, acabado en oro o en acero.

Los conectores RP-SMA Macho son una subclase de los conectores SMA europeos y se le añade el prefijo RP que significa polaridad inversa por que modifican el pin interno de los conectores SMA, como se muestra en la Figura 2.37, a estos conectores generalmente se los encuentra en las antenas Wi-Fi [10].

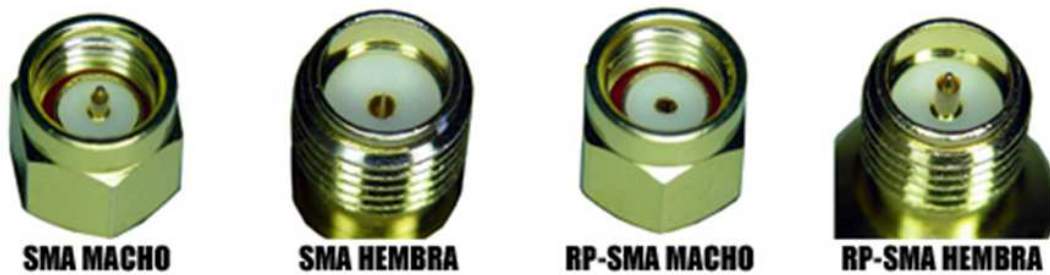


Figura 2. 37 Conectores SMA y RP-SMA

A continuación en la tabla 2.7 se muestra las características eléctricas de los conectores SMA [11].

Tabla 2. 7 Características eléctricas del conector SMA

Características Eléctricas	
<b>Impedancia</b>	50 $\Omega$
<b>Rango de frecuencia</b>	Cable semi rígido para 0.141" o 0.085" cubierto con una chaqueta de 0-18 GHz. Cable Flexible de 0-12.4 GHz.
<b>Valores de voltaje</b>	RG58, 141,142,223: 500 Vpico RG174, 188,316: 375 Vpico
<b>Voltaje dieléctrico máximo</b>	Grupo de cable 0.141" y RG58:1000V RMS Grupo de cable 0.085" y RG316:750V RMS
<b>VSWR Conectores en GHz.</b>	Grupo de cable semirígido 0.141":1.05+0.005f Grupo de cable RG58:1.15+0.01f Grupo de cable RG174: 1.15+0.02f Grupo de cable RG178: 1.20+0.025f
<b>Resistencia de contacto</b>	Centro:2 m $\Omega$ Cuerpo:2 m $\Omega$ Trenza al cuerpo:0.5 m $\Omega$
<b>Resistencia de aislamiento</b>	5000 M $\Omega$
<b>Fugas RF</b>	-90dB min. a 2 - 3 GHz
<b>Pérdidas de inserción</b>	dB max.=0.06 Frecuencia de prueba 6 GHz

### Procedimiento

Tomamos el alambre de aluminio y con ayuda del nonio medimos cada una de las longitudes obtenidas con ayuda del software QY4.

Cortamos con ayuda de la sierra cada unos de los elementos de la antena.

Tomamos el tubo y lo recortamos con una longitud superior al tamaño total de la antena (suma de la separación entre elementos) para poder sujetar la antena a una base donde probarla o usarla.



Con ayuda de un tubo o dependiendo de la separación que vaya a tener nuestro dipolo doblado ( $\phi$ ) se le da la curva para obtener la forma deseada y tratando de tener una separación ( $\delta$ ) la mínima posible.

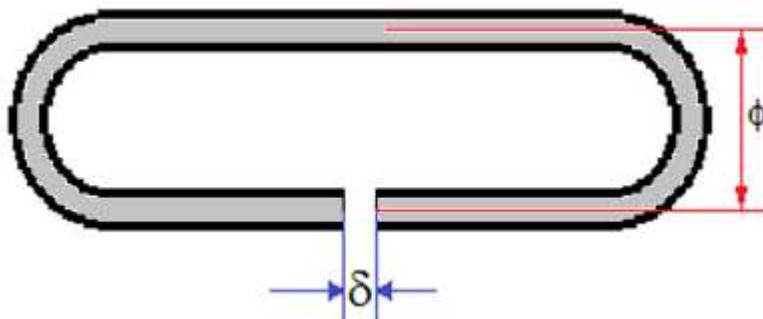


Figura 2. 38 Separaciones a considerar en el Dipolo doblado

El tubo previamente recortado marcamos los lugares en los cuales van a ir los elementos de la antena.

Se puede sujetar los elementos al tubo soldándolos, con algún soporte, o en este caso se harán canales para poner el elemento ahí y con ayuda de la suelta epóxica estos queden en el lugar adecuado.

Se coge el cable RG-58 y se lo corta para tener el núcleo y la malla metálica, la cual será tierra. El núcleo se lo une en un lado del dipolo y la malla al otro lado.

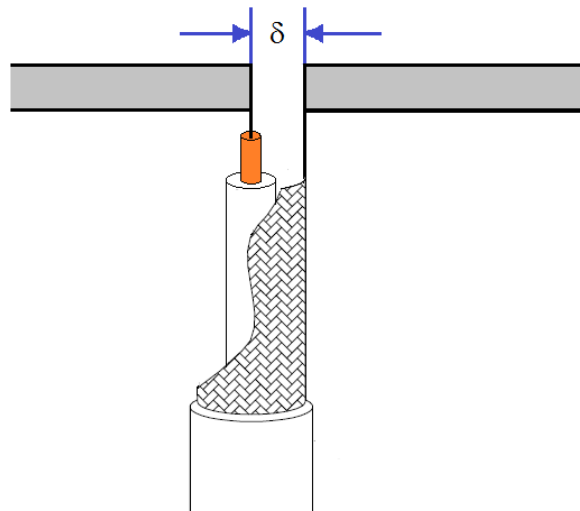


Figura 2. 39 Conexión cable coaxial al dipolo doblado

Se suelda el conector SMA al otro extremo del cable coaxial. Si se desea para que este cable esté en perfecta resonancia la longitud se la puede calcular de la siguiente fórmula correspondiente a la Ecuación 2.12:

$$\text{Long} = n * \left( \frac{\text{factor de velocidad del cable} * c}{2 * f} \right) \quad (2.12)$$

Donde:

$n \rightarrow$  número entero (1,2,3,4,...)

*factor de velocidad del cable*  $\rightarrow$  característica del cable coaxial

$c \rightarrow$  velocidad de la luz  $\left( 3 * 10^8 \frac{m}{s} \right)$

$f \rightarrow$  frecuencia de operación

#### 2.2.4. Consideraciones para Antena N°2

Las consideraciones para la segunda antena serán las mismas que las consideraciones para la antena N°1, la única variación será la frecuencia en la cual va a trabajar.

### 2.2.5. Cálculos para Antena N°2

Antena UHF

$$f_i = 669.25 \text{ MHz}$$

$$f_o = 673.75 \text{ MHz}$$

Para el diseño de la segunda antena se tienen en cuenta similares consideraciones que para la primera.

Considerando el ancho de haz de media potencia ( $46^\circ$ ), la eficiencia (98.8%), la relación F/B (9.7 dB) y la ganancia (10.7 dB) se elige diseñar una antena de 6 elementos, cuyas longitudes y separaciones son las que se calculará a continuación y el cual constituirá el primer método de diseño el cual es analítico y para un dipolo recto:

**Longitudes (frecuencia en MHz):**

$$\text{Reflector: } \frac{\lambda}{2} = \frac{150}{f} [m] \quad (2.13)$$

$$= \frac{150}{671.5} [m]$$

$$\boxed{= 0.223 [m]}$$

$$\text{Dipolo: } 0.95 \frac{\lambda}{2} = \frac{142.4}{f} [m] \quad (2.14)$$

$$= \frac{142.4}{671.5} [m]$$

$$\boxed{= 0.212 [m]}$$

$$\text{1er. Director: } 0.9 \frac{\lambda}{2} = \frac{135}{f} [m] \quad (2.15)$$

$$= \frac{135}{671.5} [m]$$

$$\boxed{= 0.201 [m]}$$

Directores: m:  $0.900 \frac{\lambda}{2} = \frac{135}{f} [m]$  (2.16)

n:  $0.885 \frac{\lambda}{2} = \frac{133}{f} [m]$  (2.17)

$$= \frac{133}{671.5} [m]$$

$$\boxed{= 0.198 [m]}$$

p:  $0.867 \frac{\lambda}{2} = \frac{130}{f} [m]$  (2.18)

$$= \frac{130}{671.5} [m]$$

$$\boxed{= 0.193 [m]}$$

q:  $0.860 \frac{\lambda}{2} = \frac{129}{f} [m]$  (2.19)

$$= \frac{129}{671.5} [m]$$

$$\boxed{= 0.192 [m]}$$

s:  $0.837 \frac{\lambda}{2} = \frac{126}{f} [m]$  (2.20)

### Separación:

Dipolo – Reflector:  $0.18\lambda = \frac{54}{f} [m]$  (2.21)

$$= \frac{54}{671.5} [m]$$

$$= 0.080[m]$$

$$\text{Dipolo - 1er. Director: } 0.09\lambda = \frac{27}{f}[m] \quad (2.22)$$

$$= \frac{27}{671.5}[m]$$

$$= 0.040[m]$$

$$\text{Directores consecutivos: } 0.18\lambda = \frac{54}{f}[m] \quad (2.23)$$

$$= \frac{54}{671.5}[m]$$

$$= 0.080[m]$$

A continuación se procederá a realizar el diseño de la antena mediante el software QY4 que puede ser descargado de <http://www.raibeam.com/wa7rai.html> en el cual se procederá de la siguiente manera:

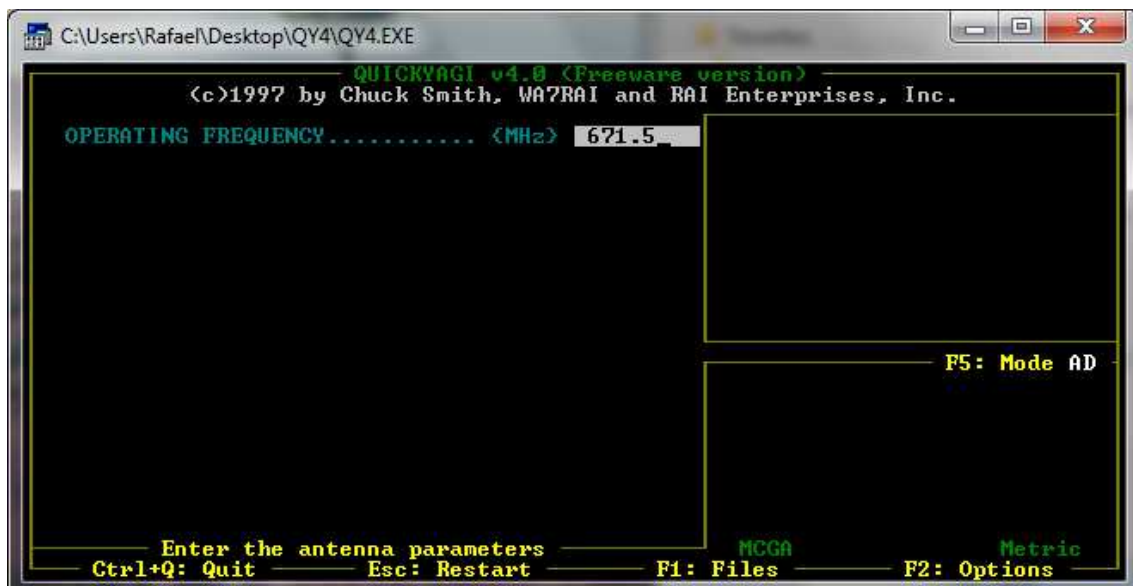


Figura 2. 40 Pantalla QY4 ingreso de frecuencia central

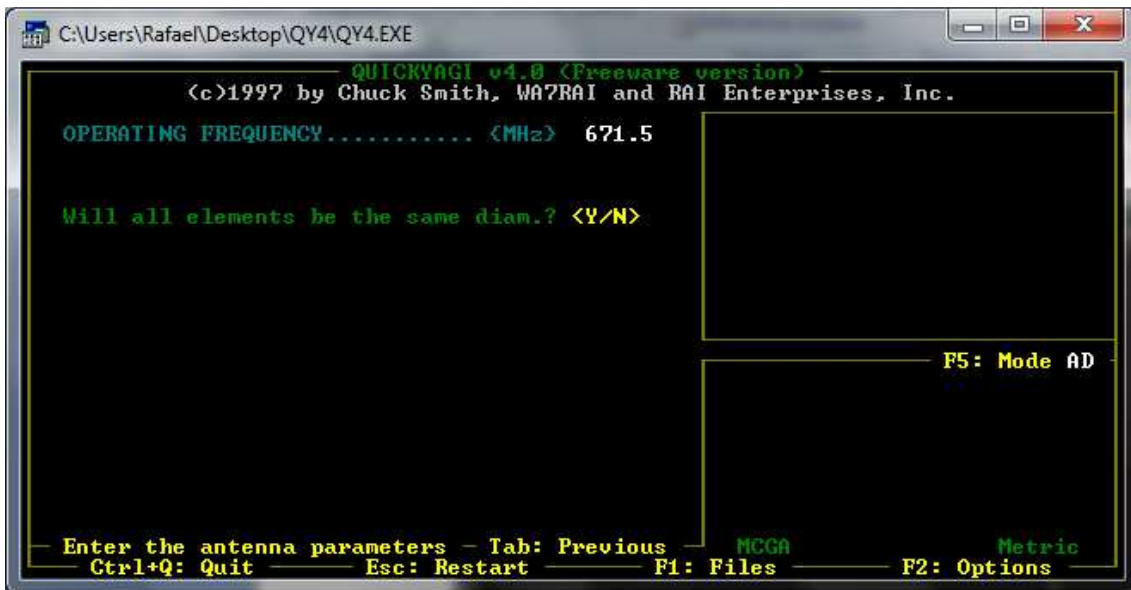


Figura 2. 41 Pantalla QY4 selección de diámetro para el diseño

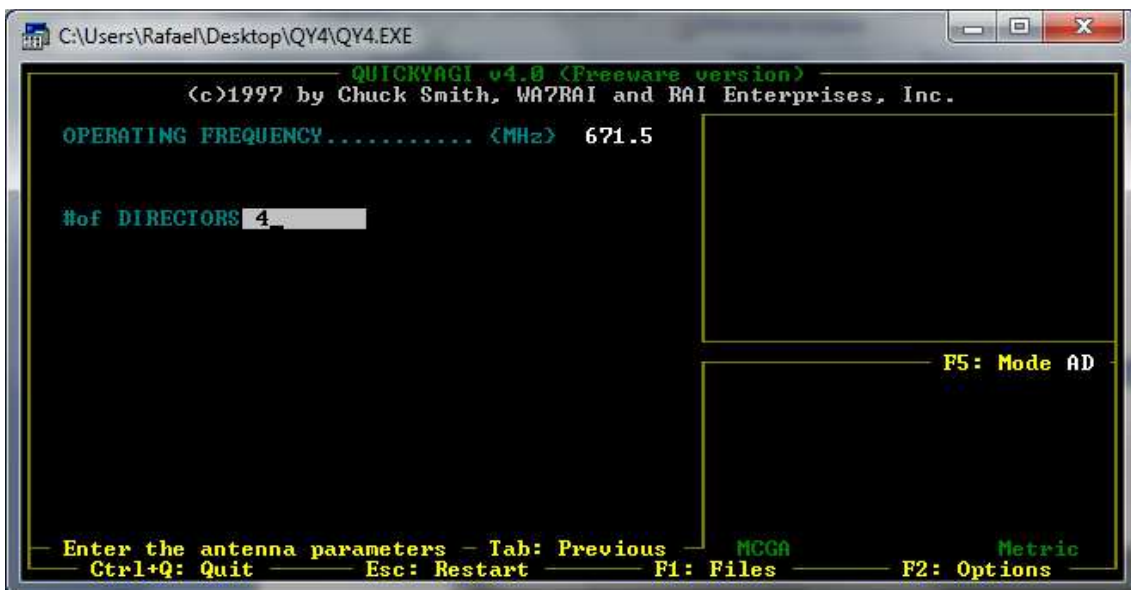


Figura 2. 42 Pantalla QY4 ingreso de número de directores

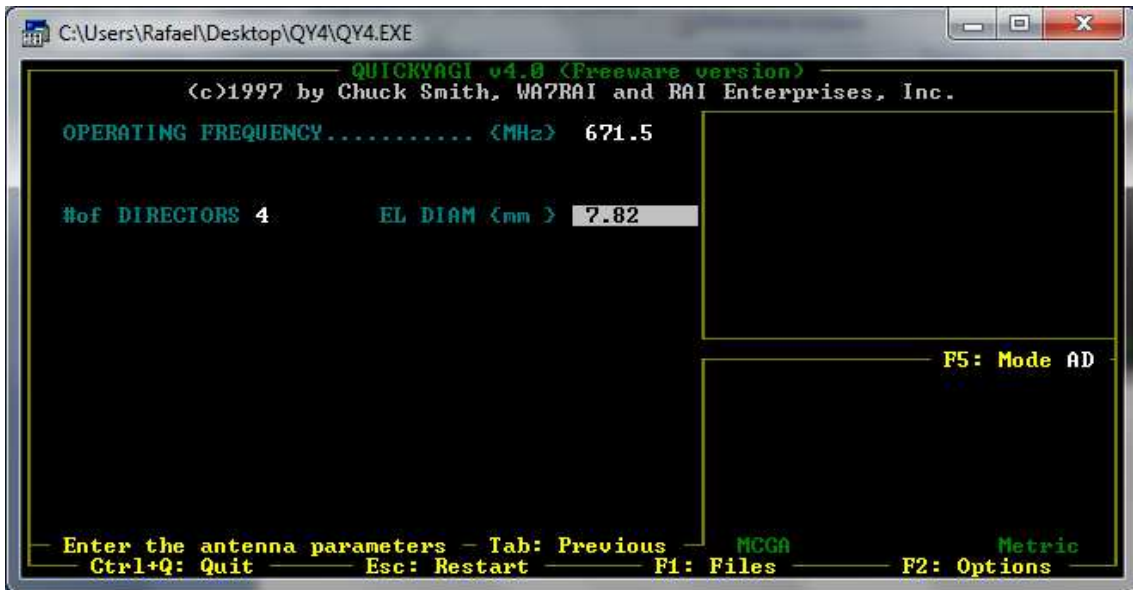


Figura 2. 43 Pantalla QY4 ingreso diámetro de los elementos



Figura 2. 44 Pantalla QY4 diseño inicial sin optimizar

```

QUICKYAGI v4.0 (Freeware version)
(c)1997 by Chuck Smith, WA7RAI and RAI Enterprises, Inc.

OPERATING FREQUENCY..... {MHz} 671.5
REFLECTOR LENGTH..... { m } .21795
FED ELEMENT LENGTH..... { m } .198911
REFLECTOR SPACING..... { m } .101113
#of DIRECTORS 4      Rfl EL DIAM {mm} 7.82
D 1 SP { m } .078011  D 1 LEN { m } .192215
D 2 SP { m } .099379  D 2 LEN { m } .184647
D 3 SP { m } .116359  D 3 LEN { m } .181624
D 4 SP { m } .149605  D 4 LEN { m } .176132

FORWARD GAIN = 11.78 dBi
F to B RATIO = 38.25 dB

INPUT IMPEDANCE =
100.0 -j 0.0 Ohms

ARRAY LENGTH = 0.54 m

F4: Optimize      F6: BW
F3: Plot          F5: Mode M

↑ ↓ ← → keys: Step highlight      MCGA      FD Metric
Ctrl+Q: Quit      Esc: Restart      F1: Files      F2: Options

```

Figura 2. 45 Pantalla QY4 optimizado con dipolo doblado



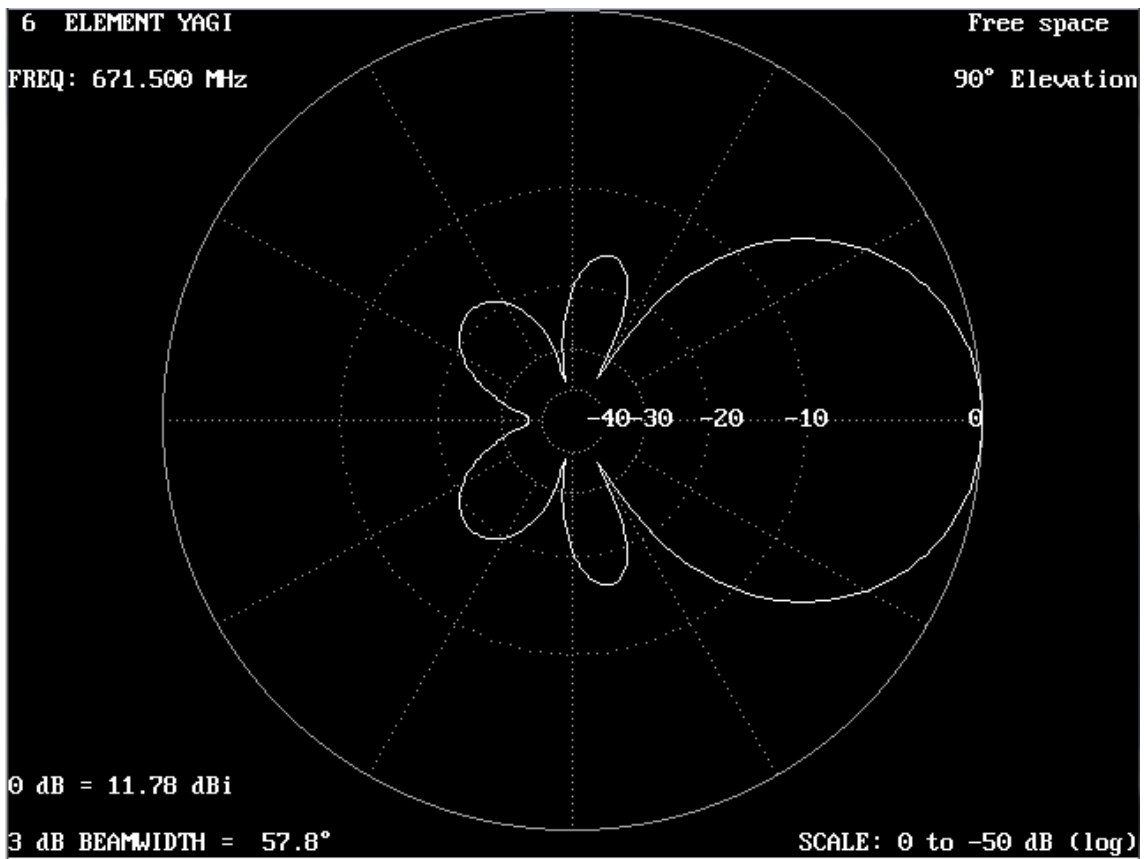


Figura 2. 46 Patrón de radiación teórico del diseño

QUICKYAGI v4.0 (Freeware version)						
Freq.(MHz)	Gain(dBi)	F/B(dB)	Input res. & react.(Ω)		USWR	
679.894	12.152	20.759	83.661	+j 27.97	1.42:1	
679.054	12.118	21.759	85.059	+j 24.76	1.37:1	
678.215	12.083	22.873	86.525	+j 21.64	1.31:1	
677.376	12.048	24.133	88.051	+j 18.61	1.27:1	
676.536	12.011	25.582	89.634	+j 15.67	1.22:1	
675.697	11.974	27.282	91.268	+j 12.83	1.18:1	
674.858	11.936	29.333	92.947	+j 10.07	1.14:1	
674.018	11.898	31.880	94.666	+j 7.41	1.10:1	
673.179	11.860	35.073	96.419	+j 4.84	1.06:1	
672.340	11.822	38.334	98.201	+j 2.37	1.03:1	
671.500	11.783	38.248	100.005	-j 0.01	1.00:1	
670.661	11.745	35.038	101.826	-j 2.29	1.03:1	
669.822	11.706	31.994	103.658	-j 4.48	1.06:1	
668.982	11.668	29.590	105.495	-j 6.56	1.09:1	
668.143	11.630	27.673	107.330	-j 8.56	1.11:1	
667.303	11.593	26.098	109.158	-j 10.46	1.14:1	
666.464	11.555	24.770	110.972	-j 12.26	1.17:1	
665.625	11.519	23.627	112.766	-j 13.98	1.19:1	
664.785	11.482	22.625	114.535	-j 15.60	1.22:1	
663.946	11.446	21.735	116.272	-j 17.13	1.24:1	
663.107	11.411	20.936	117.972	-j 18.58	1.27:1	

P: Print      G: Graph      B: BW Plot      Esc: Exit

Figura 2. 47 Valores de respuesta teóricos de la antena según la frecuencia

Tabla 2. 8 Resultados obtenidos mediante cálculos analíticos y software

Elemento		Analítico (cm)	Software QY4 (cm)
Reflector		22.3	21.79
Dipolo		21.2 (Recto)	19.89 (Doblado)
1° director		20.1	19.22
2° director		19.8	18.46
3° director		19.3	18.16
4° director		19.2	17.61
Separación	Reflector-Dipolo	8	10.11
Separación	Dipolo-1° director	4	7.8
Separación	1° director-2° director	8	9.94
Separación	2° director-3° director	8	11.64
Separación	3° director-4° director	8	14.96

### 2.2.6. Implementación Antena N°2

#### Materiales

- Alambre de aluminio
- Cable RG-58
- Conector SMA
- Tubo ¾ redondo
- Metro
- Sierra
- Lima
- Nonio
- Masilla epóxica

- Cinta adhesiva.

### Procedimiento

Tomamos el alambre de aluminio y con ayuda del nonio medimos cada una de las longitudes obtenidas con ayuda del software QY4.

Cortamos con ayuda de la sierra cada uno de los elementos de la antena y limamos los extremos.

Tomamos el tubo y lo recortamos con una longitud superior al tamaño total de la antena (suma de la separación entre elementos) para poder sujetar la antena a una base donde probarla o usarla.

Con ayuda de un tubo o dependiendo de la separación que vaya a tener nuestro dipolo doblado ( $\phi$ ) se le da la curva para obtener la forma deseada y tratando de tener una separación ( $\delta$ ) la mínima posible.

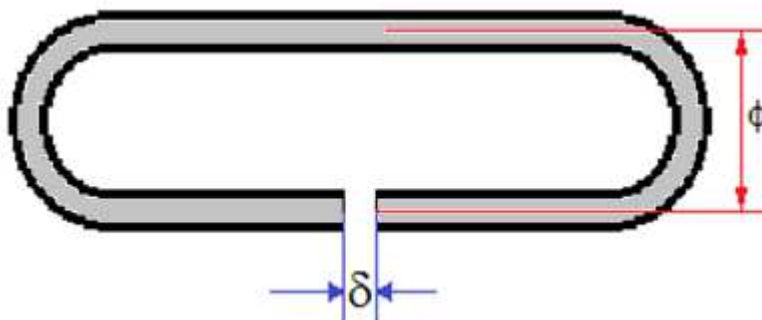


Figura 2. 48 Separaciones a considerar en el Dipolo doblado

El tubo previamente recortado marcamos los lugares en los cuales van a ir los elementos de la antena.

Se puede sujetar los elementos al tubo soldándolos, con algún soporte, o en este caso se harán canales para poner el elemento ahí y con ayuda de la suelta epóxica estos queden en el lugar adecuado.

Se coge el cable RG-58 y se lo corta para tener el núcleo y la malla metálica, la cual será tierra. El núcleo se lo une en un lado del dipolo y la malla al otro lado.

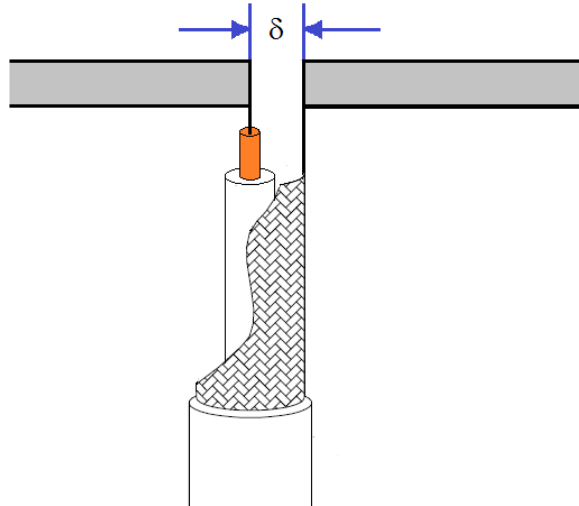


Figura 2. 49 Conexión cable coaxial al dipolo doblado

Se suelda el conector SMA al otro extremo del cable coaxial. Si se desea para que este cable esté en perfecta resonancia la longitud se la puede calcular de la siguiente fórmula correspondiente a la Ecuación 2.24:

$$\text{Long} = n * \left( \frac{\text{factor de velocidad del cable} * c}{2 * f} \right) \quad (2.24)$$

Donde:

$n \rightarrow$  número entero (1,2,3,4,...)

*factor de velocidad del cable*  $\rightarrow$  característica del cable coaxial

$c \rightarrow$  velocidad de la luz  $\left( 3 * 10^8 \frac{m}{s} \right)$

$f \rightarrow$  frecuencia de operación

## **CAPÍTULO 3.**

### **PRUEBAS CON ANTENAS**

#### **3.1. CONSIDERACIONES DE PARÁMETROS A MEDIR**

Con el objetivo de conocer las respuestas de las antenas diseñadas así como verificar el funcionamiento del analizador vamos a proceder a ver cuáles de las funciones del instrumento son las más adecuadas. Para ello se tomarán en cuenta las funciones del analizador de cables y antenas. Las medidas que se van a tomar son:

- VSWR
- Pérdidas de Retorno
- Distancia a la falla pérdidas de retorno
- Distancia a la falla VSWR
- Carta de Smith

#### **VSWR o ROE**

Es la medida de la energía enviada por el transmisor y se refleja en el sistema de transmisión.

La relación de onda estacionaria (SWR), se define como la relación del voltaje máximo con el voltaje mínimo, o de la corriente máxima con la corriente mínima de una onda. A ello también se llama relación de voltajes de onda estacionaria. (VSWR). En esencia es una medida de la falta de compensación entre la impedancia de carga y la impedancia característica de la línea de transmisión.

El ROE no es lineal: si la energía reflejada se duplica, el ROE aumenta mucho más del doble.

Un ROE de 1.5 equivale a una reflexión del 4%.

Un ROE muy alto puede dañar al transmisor. Se considera que un ROE máximo de 1.5 es un límite de seguridad aceptable para transmisores

modernos; los transmisores a válvulas podían aceptar un ROE algo mayor sin peligro para el transmisor.

El primer efecto de la ROE es que la carga no absorbe toda la energía suministrada por la línea (y por tanto por el generador). Si la carga es una antena, una parte de la energía del transmisor no es radiada y por tanto no se aprovecha.

Otro efecto es que el transmisor se puede encontrar con unos valores de tensión e intensidad superiores a los que puede soportar con seguridad, con el consiguiente peligro de destrucción. Este peligro es más importante en el caso de emisores a transistores que en los de válvulas, ya que éstas tienen un margen de tolerancias más alto, y, por la misma construcción de su circuito de salida, se pueden adaptar mejor que los equipos transistorizados para cargas distintas de las previstas.

La tercera consecuencia desfavorable de la ROE es que la línea de transmisión aumenta sus pérdidas. Las líneas reales (hasta ahora se ha analizado una línea ideal, que no tenía pérdidas), tienen siempre un cierto grado de pérdidas de potencia. Si la ROE es elevada, estas pérdidas aumentan, reduciendo aún más la potencia que llega a la carga.

De todas formas, una cierta ROE existen en casi todas las instalaciones ya que resulta casi imposible realizar un acoplamiento perfecto entre línea y carga. Una ROE de 1.5:1 es perfectamente admisible en cualquier instalación. Una ROE de 2:1 puede empezar a ser un problema con equipos transistorizados y una ROE 3:1 es ya desaconsejada para cualquier equipo. [12]

### **Pérdidas de Retorno**

Se denomina pérdida de retorno, a la energía o potencia que retorna a la carga cuando la impedancia de la carga es diferente respecto de la impedancia de la fuente. En este caso se dice que hay un desbalance de impedancia entre la carga y la fuente.

### Distancia a la Falla pérdidas de Retorno

La gráfica de pérdidas de retorno en función de la distancia describe las características del cableado, mostrando al usuario la localización precisa de los fallos (DTF).

### Distancia a la Falla VSWR

La medida DTF muestra el ROE en comparación con los valores de distancia. Si las mediciones de frecuencia fallan o muestran un problema en el sistema, entonces la medida DTF se puede utilizar para identificar y localizar la ubicación exacta del problema. La medida DTF muestra el valor de la pérdida de retorno de todos los componentes individuales, incluyendo pares de conectores y componentes de los cables. [13]

### Carta de Smith

Despliega los resultados de las mediciones en una carta de Smith.

## 3.2.MEDICIONES CON ANTENA IMPLEMENTADA N°1

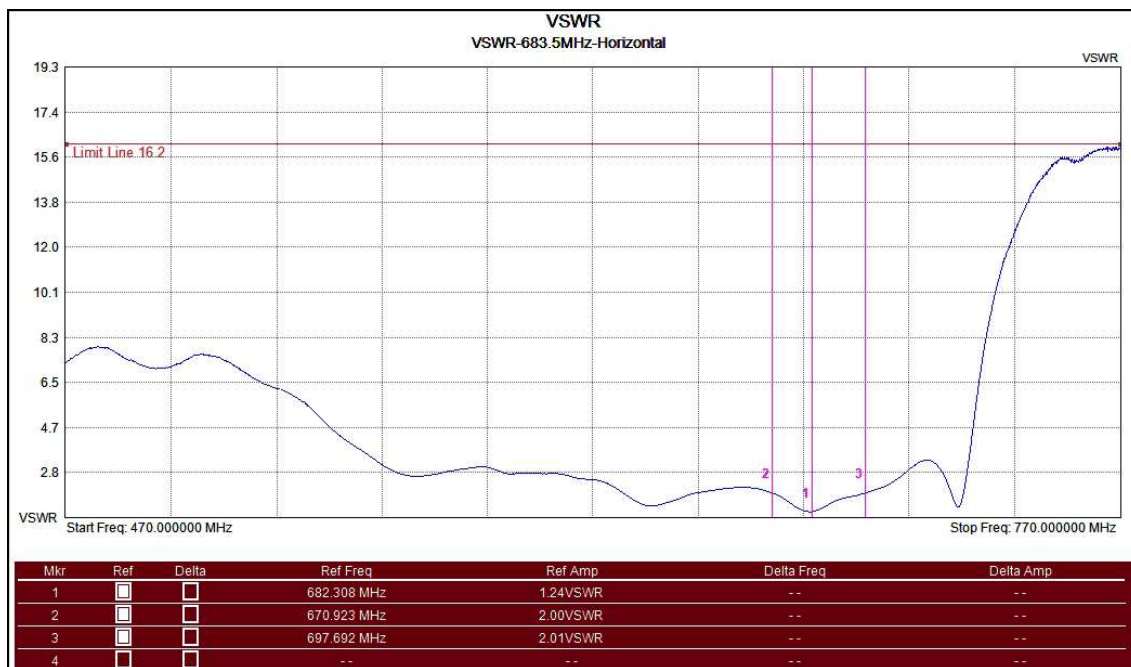


Figura 3. 1 Medición VSWR polarización horizontal antena 683.5MHz

Para verificar la frecuencia en la cual está trabajando la antena que se encuentra en polarización horizontal determinamos donde se encuentra el valor más bajo y este está mostrado en el marcador 1, de este modo se observa que la frecuencia de operación es de  $682.308\text{MHz}$  con un  $VSWR = 1.24$  siendo un valor cercano al diseñado el cual era de  $683.5\text{MHz}$  y que idealmente tendría un  $VSWR = 1$ . A continuación se puede determinar el ancho de banda de la antena, es decir el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central, el cual el estándar comúnmente es  $VSWR \leq 2$  o  $|\Gamma| \leq 1/3$ , dichos valores están mostrados por los marcadores 2 y 3 correspondientes a las frecuencias  $670.923\text{MHz}$  y  $697.692\text{MHz}$  respectivamente.

$$BW = f_H - f_L \quad (3.1)$$

$$BW = 697.692 - 670.923$$

$$\boxed{BW = 26.769\text{MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ), el cual es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión de la antena su máximo valor es 1 y el mínimo  $-1$ , nos basamos en el valor de  $VSWR$  obtenido:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.2)$$

$$|\Gamma| = \frac{1.24 - 1}{1.24 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma| = 0.107}$$



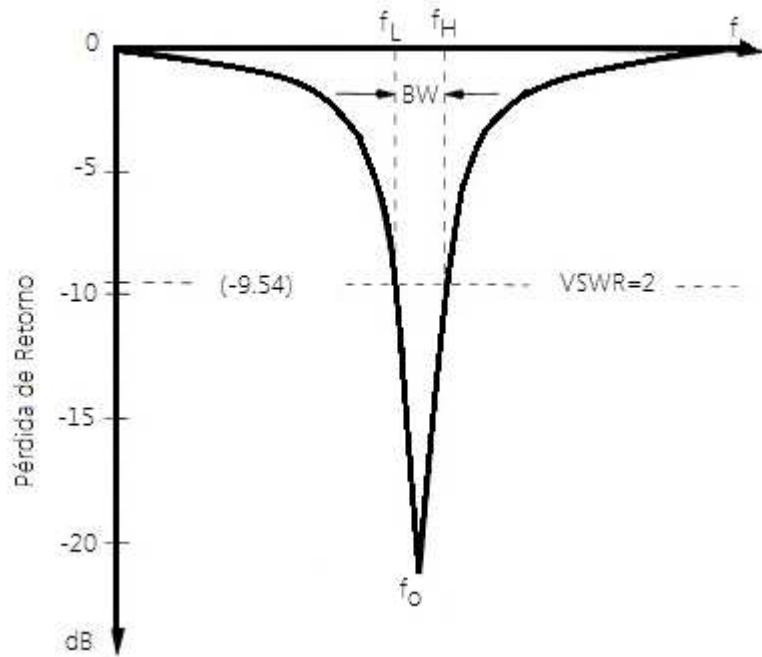


Figura 3. 2 Gráfica Pérdida de Retorno/VSWR vs. Frecuencia para cálculo de ancho de banda

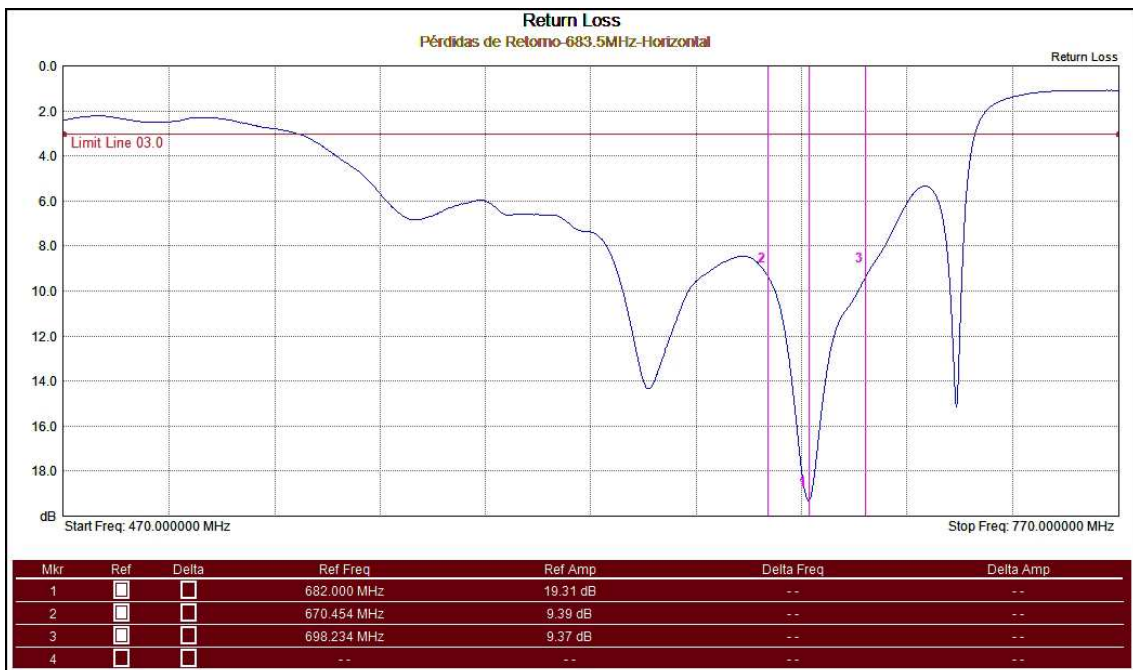


Figura 3. 3 Medición Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 683.5MHz

Es otra forma de poder definir la adaptación entre dos dispositivos cuando se conectan entre sí o que tan cerca de  $50 \Omega$  esta su impedancia de entrada y/o salida.

Con esta opción se puede hacer mediciones de las características de reflexión. Por ejemplo se podría usar para detectar problemas en la línea de alimentación de una antena, o propiamente algún problema en la antena. Una parte de la potencia incidente puede ser reflejada hacia la fuente por algún fallo en la línea de transmisión o bien de la antena.

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

$$RL = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.3)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{1.24 - 1}{1.24 + 1} \right)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{0.24}{2.24} \right)$$

$$RL = 20 \log(0.107)$$

$$\boxed{RL = -19.4dB}$$

Si se observa el valor de RL de la muestra tomada se tiene que esta es de  $-19.31dB$  mientras que en el cálculo teórico a partir del  $VSWR$  obtenido tenemos un valor de  $-19.4dB$ , una pequeña diferencia entre estos valores.

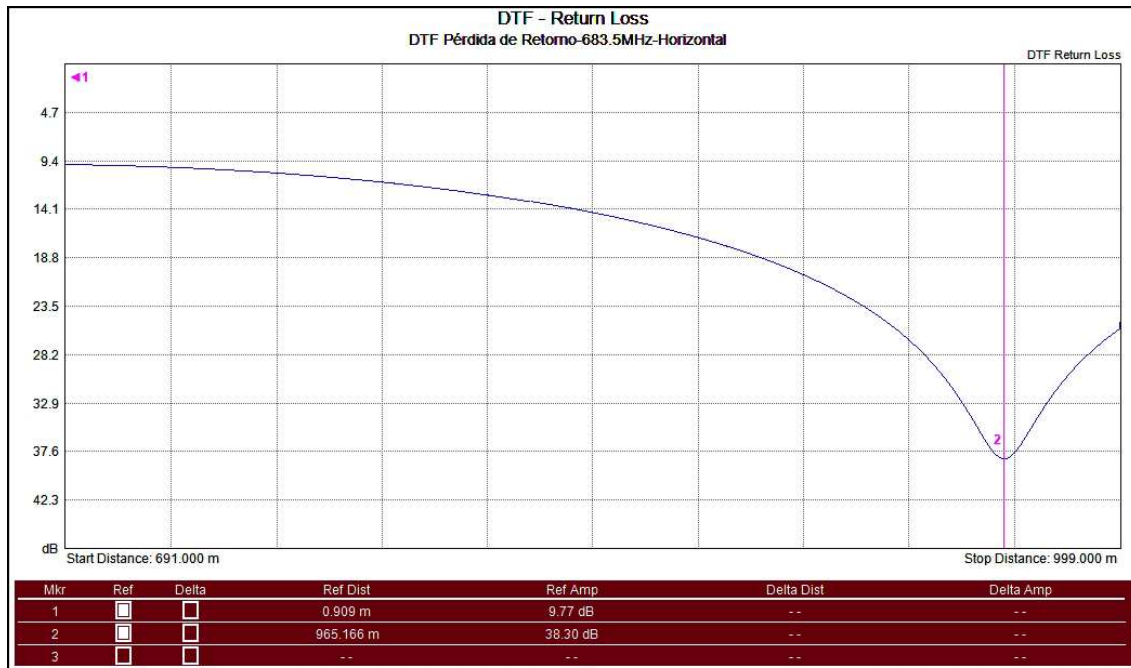


Figura 3. 4 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 683.5MHz

Para esta medición una señal es transmitida de la salida RF Output del analizador hacia el cable bajo prueba. Las señales reflejadas desde la falla en el cable son recibidas por el analizador. El analizador utiliza reflectometría en el dominio de la frecuencia llevar a cabo la medición.

La interferencia variante de las señales transmitidas y reflejadas contiene la información de la distancia de una o más fallas. La distancia mostrada en el analizador es la distancia física de la posible falla, corregida para las pérdidas en el cable y factor de velocidad del cable.

Se puede configurar el analizador en DTF-Return Loss o DTF-VSWR, cualquiera de estos métodos no sirven para el propósito

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en  $-9.77dB$ , apareciendo recién un valle a los 965.166 metros en donde se ve una variación a  $-38.30dB$ .

Para aplicaciones de pruebas de campo es más recomendado emplear DTF-Return Loss. Estas pruebas se las realiza para probar si el cable

tiene fallas por lo cual se debe desconectar la antena y conectar la carga (Load) o el corto (Short).



Figura 3. 5 Medición DTF-VSWR polarización horizontal antena 683.5MHz

Esta es otra forma de verificar la distancia a la falla mediante el modo DTF-VSWR en donde se ve hay una amplitud constante de 1.97 después hay un valle que llega a 1.03 a los 965.026 metros.

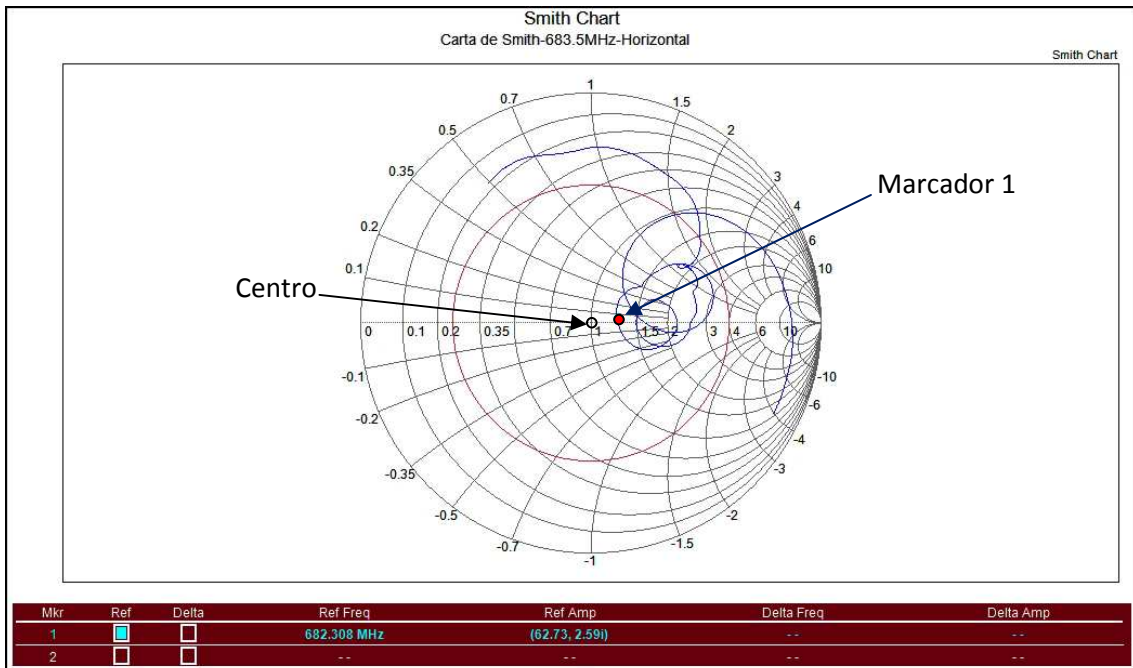


Figura 3. 6 Medición Carta de Smith polarización horizontal antena 683.5MHz

Se puede ver si la antena está correctamente adaptada mediante la carta de Smith, el objetivo es lograr que la frecuencia de trabajo de la antena esté lo más cercana al centro de la carta y como se logra observar con el marcador 1.

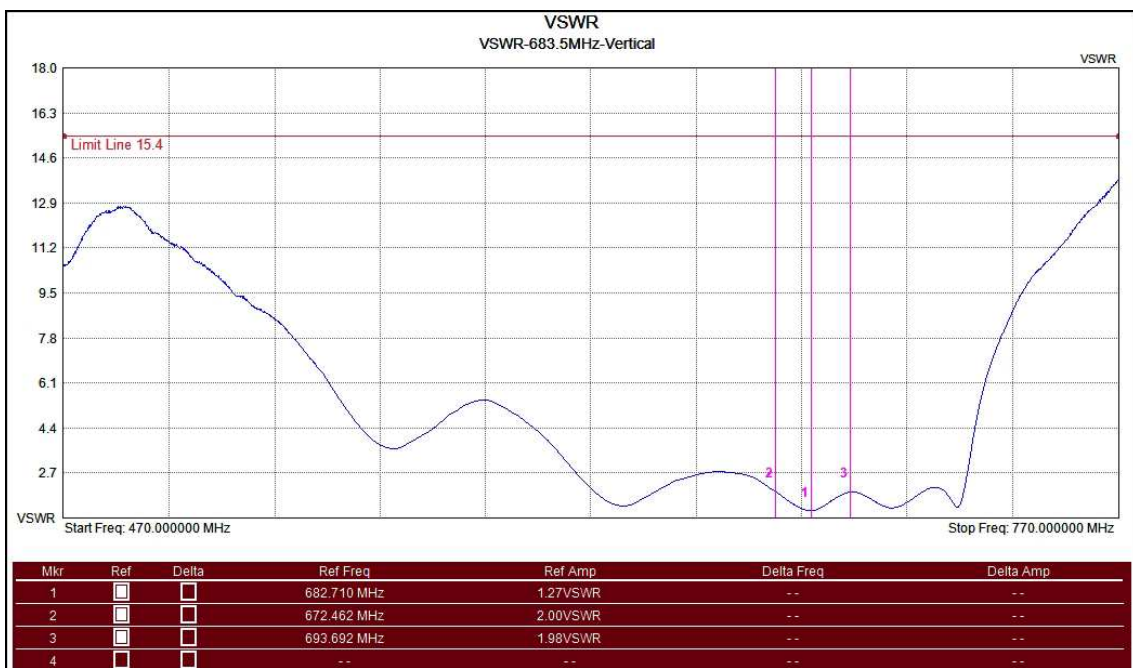


Figura 3. 7 Medición VSWR polarización vertical antena 683.5MHz

Nuevamente para verificar la frecuencia en la cual está trabajando la antena, esta vez en polarización vertical, determinamos donde se encuentra el valor más bajo y este está mostrado en el marcador 1, de este modo se observa que la frecuencia de operación es de  $682.710\text{MHz}$  con un  $VSWR = 1.27$  siendo un valor cercano al diseñado el cual era de  $683.5\text{MHz}$  y que idealmente tendría un  $VSWR = 1$ . A continuación se puede determinar el ancho de banda de la antena, es decir el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central, el cual el estándar comúnmente es  $VSWR \leq 2$  o  $|\Gamma| \leq 1/3$ , dichos valores están mostrados por los marcadores 2 y 3 correspondientes a las frecuencias  $672.462\text{MHz}$  y  $693.692\text{MHz}$  respectivamente.

$$BW = f_H - f_L \quad (3.4)$$

$$BW = 693.692 - 672.462$$

$$\boxed{BW = 21.23\text{MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ), el cual es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión de la antena su máximo valor es 1 y el mínimo  $-1$ , nos basamos en el valor de  $VSWR$  obtenido:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.5)$$

$$|\Gamma| = \frac{1.27 - 1}{1.27 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma| = 0.119}$$

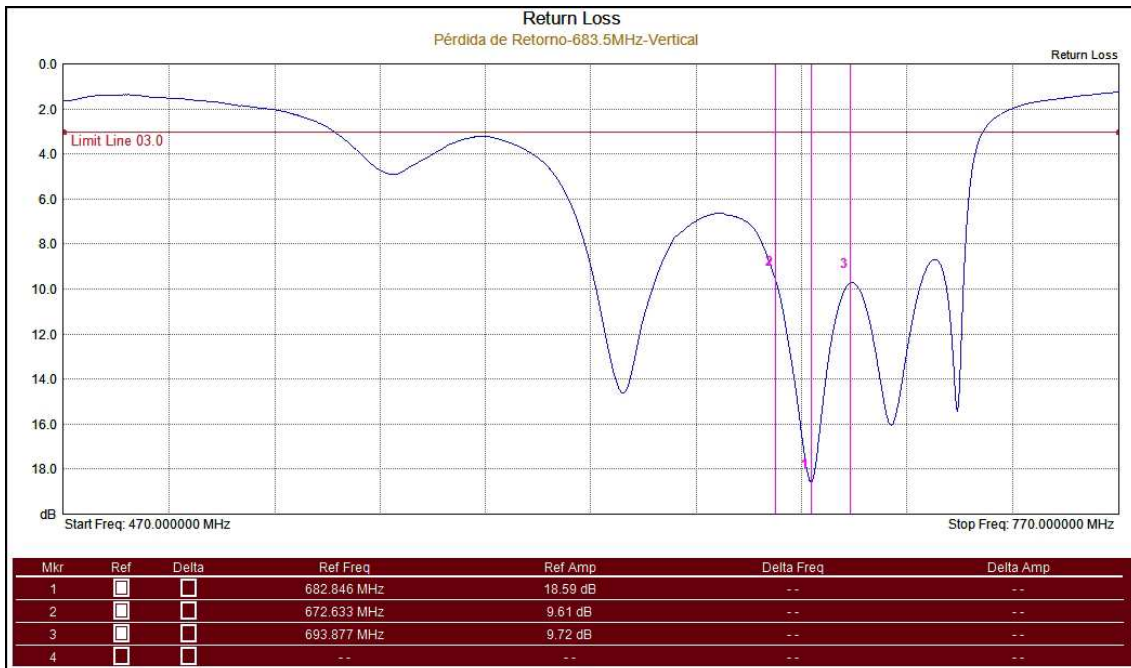


Figura 3. 8 Medición Pérdida de Retorno polarización vertical antena 683.5MHz

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

$$RL = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.6)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{1.27 - 1}{1.27 + 1} \right)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{0.27}{2.27} \right)$$

$$RL = 20 \log(0.119)$$

$$\boxed{RL = -18.49dB}$$

Si se observa el valor de  $RL$  de la muestra tomada se tiene que esta es de  $-18.59dB$  mientras que en el cálculo teórico a partir del  $VSWR$  obtenido tenemos un valor de  $-18.49dB$ , una pequeña diferencia entre estos valores.

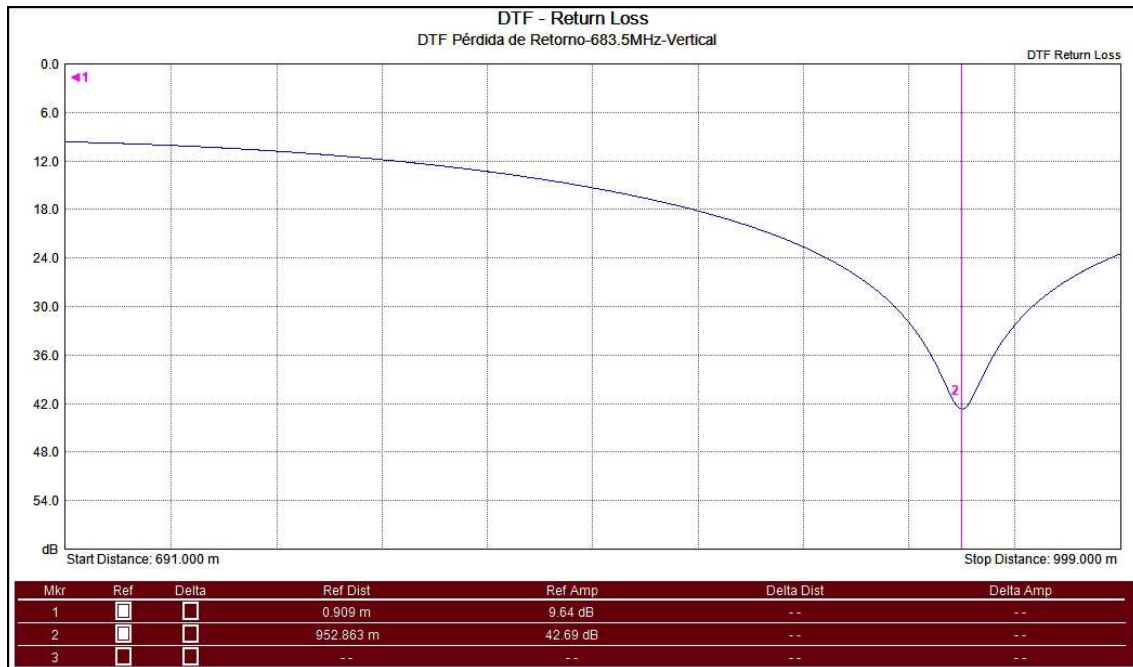


Figura 3. 9 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización vertical antena 683.5MHz

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en  $-9.64dB$ , apareciendo recién un valle a los 952.863 metros en donde se ve una variación a  $-42.69dB$ .



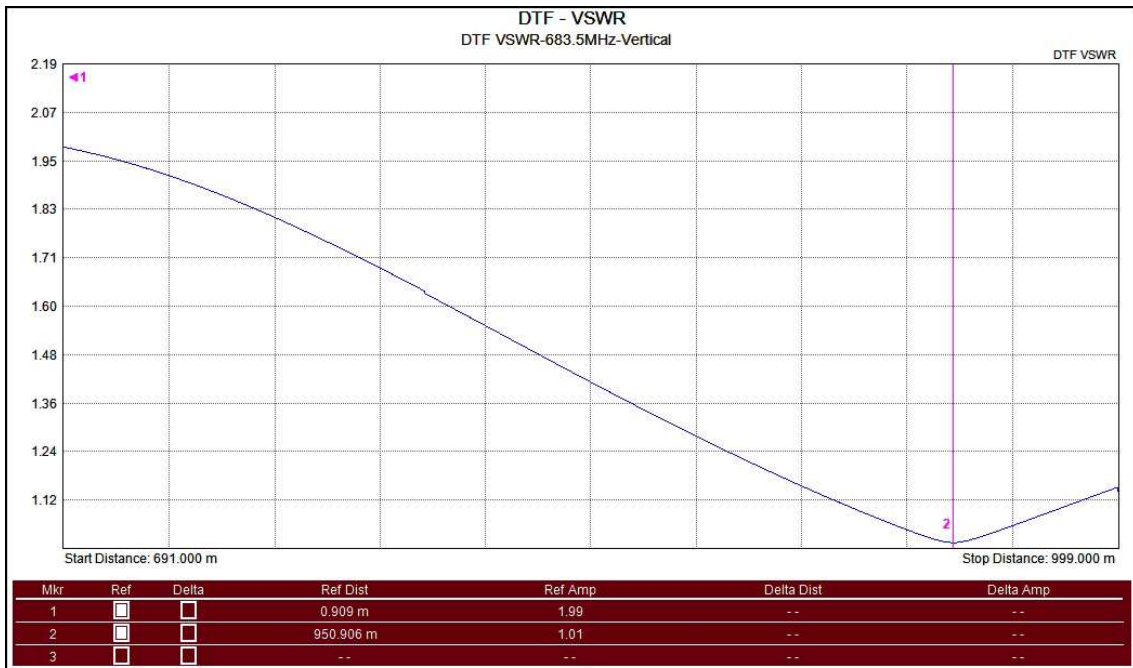


Figura 3. 10 Medición DTF-VSWR polarización vertical antenna 683.5MHz

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en 1.99, apareciendo recién un valle a los 950.906 metros en donde se ve una variación a 1.01.

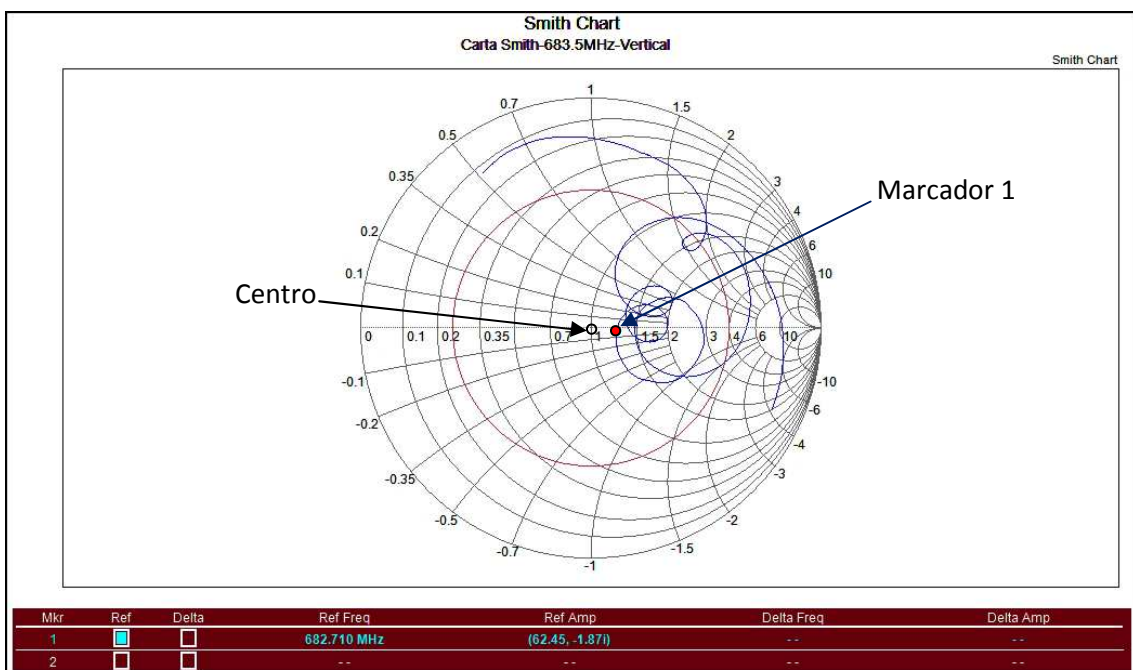


Figura 3. 11 Medición Carta de Smith polarización vertical antenna 683.5MHz

Se puede ver si la antena está correctamente adaptada mediante la carta de Smith, el objetivo es lograr que la frecuencia de trabajo de la antena esté lo más cercana al centro de la carta y como se logra observar con el marcador 1.

A continuación se realizaron medidas con la antena diseñada en recepción y una antena dipolo en transmisión en la frecuencia de trabajo de  $683.5\text{MHz}$ . Se ajusta el instrumento en modo analizador de espectros y con ayuda de un generador de señal para la transmisión y de un motor controlador para ir variando el ángulo de la antena receptora para mayor exactitud, se realizará la toma de datos en espacios de  $5^\circ$ .

Lo que primero se debe analizar para tomar los datos es la separación entre las antenas trasmisora y receptora. Para ello, las antenas deberán estar separadas una distancia mayor a la requerida para operar en el campo lejano  $Ff$  (Far field) o conocida como distancia de Fraunhofer con el fin de reducir los efectos de proximidad y multitrayectorias, la cual se obtiene de:

$$Ff = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.7)$$

Donde:

$D \rightarrow$  Dimensión real física de la antena [m]

$\lambda \rightarrow$  Longitud de onda [m]

De los datos del diseño podemos obtener la dimensión total de la antena la cual es de  $0.53\text{m}$ , la frecuencia de trabajo es  $683.5\text{MHz}$ , entonces:

$$Ff = \frac{2(0.53\text{m})^2}{\left(\frac{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{683.5 \times 10^6 \text{Hz}}\right)}$$

$$Ff = \frac{2(0.2809\text{m}^2)}{0.4389\text{m}}$$

$$\boxed{Ff = 1.2799\text{m}}$$

La distancia para realizar las mediciones debe ser mayor a  $1.28m$  por lo cual estas se realizaran a una separación de  $2.3m$ .

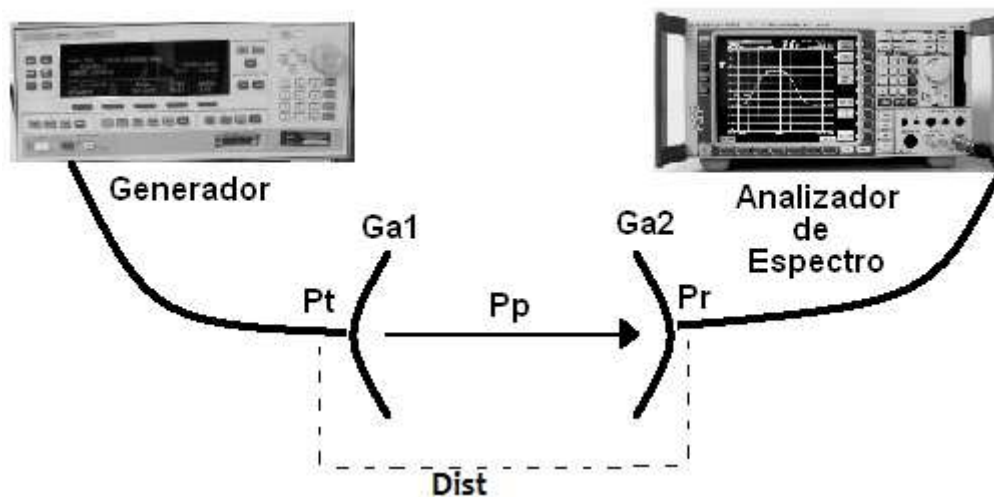


Figura 3. 12 Esquema para cálculo de ganancia de antena en prueba

Tabla 3. 1 Puntos de referencia  
para Patrón de Radiación  
Antena 1

Ángulo	dBm
0°	-28.38
5°	-28.43
10°	-28.71
15°	-29.36
20°	-30.46
25°	-31.81
30°	-33.62
35°	-36.35
40°	-41.49
45°	-45.19
50°	-51.87
55°	-57.86
60°	-58.86
65°	-58.87
70°	-52.59
75°	-46.82
80°	-45.28
85°	-43.36
90°	-43.03
95°	-45.34
100°	-46.18
105°	-47.21
110°	-52.8

115°	-58.43
120°	-53.08
125°	-51.04
130°	-49.34
135°	-45.18
140°	-43.87
145°	-43.07
150°	-43.41
155°	-43.07
160°	-42.86
165°	-42.27
170°	-44.62
175°	-47.46
180°	-45.59
185°	-44.34
190°	-47.48
195°	-44.63
200°	-42.36
205°	-46.62
210°	-43.66
215°	-42.96
220°	-41.02
225°	-39.66
230°	-39.43
235°	-39.99
240°	-40.18

245°	-41.37
250°	-43.5
255°	-46.44
260°	-51.43
265°	-62.07
270°	-59.57
275°	-53.35
280°	-49.98
285°	-46.18
290°	-45.4
295°	-45.2
300°	-43.98
305°	-45.84
310°	-51.33
315°	-55.61
320°	-47.58
325°	-41.02
330°	-36.97
335°	-34.21
340°	-31.93
345°	-30.3
350°	-29.5
355°	-28.8
360°	-28.36

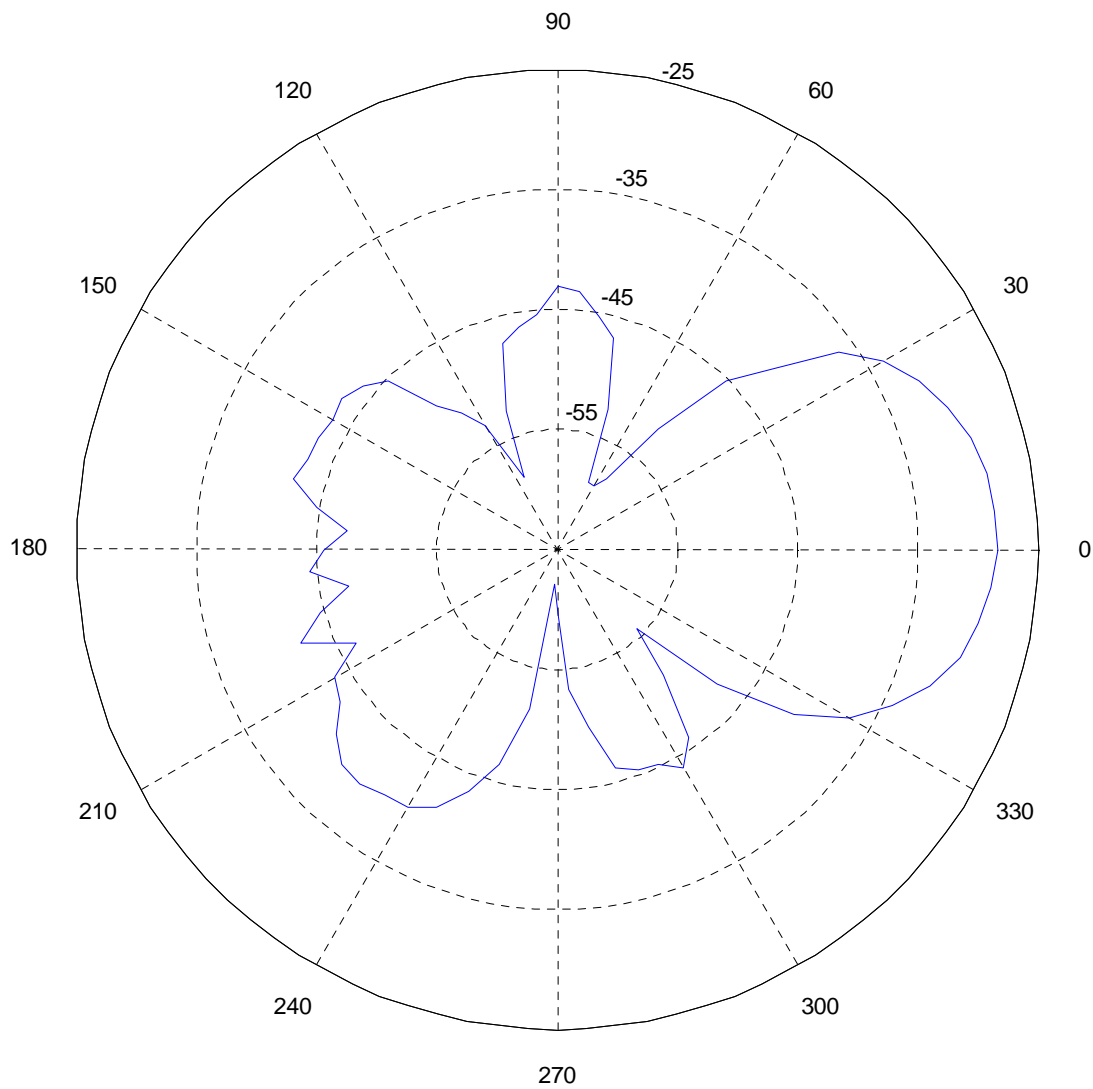


Figura 3. 13 Patrón de radiación antena 683.5MHz

Para el obtener el valor de ganancia de nuestra antena en prueba usamos una antena patrón la cual ya se tienen los datos de fabricante, esto se calcula mediante la ecuación de transmisión de Friis:

$$\frac{Pr}{Pt} = \frac{Ga1(Ga2)\lambda^2}{(4\pi Dist)^2} \quad (3.8)$$

Donde:

Pr → Potencia recibida por antena en prueba, la cual es el mayor valor del patrón de radiación

$P_t$  → Potencia transmitida por antena patrón

$G_{a1}$  → Ganancia antena patrón

$G_{a2}$  → Ganancia antena en prueba

$Dist$  → Distancia entre las dos antenas que debe ser mayor a  $Ff$

De donde la potencia recibida se puede expresar en dBm:

$$10 \log(P_r) = 10 \log \left( P_t \frac{G_{a1}(G_{a2})\lambda^2}{(4\pi Dist)^2} \right) \quad (3.9)$$

$$P_r = P_t + G_{a1} + G_{a2} + P_p \text{ [dBm]} \quad (3.10)$$

Donde:

$$P_p = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi Dist} \right) \text{ [dB]} \quad (3.11)$$

Siendo  $P_p$  las pérdidas de propagación [14].

Los datos necesarios para el cálculo de la antena en prueba son los siguientes:

$Dist = 2.3 \text{ m}$

$\lambda = 0.4389 \text{ m}$

$P_r = -28.36 \text{ dBm}$

$P_t = 110 \text{ dBuV}$

$G_{a1} = 2.15 \text{ dBi}$

Los valores de  $P_t$  y  $G_{a1}$  son valores dados por el fabricante, sin embargo debemos convertir  $P_t$  en de dBuV a dBm, para ello podemos usar conversores en internet como <http://www.giangrandi.ch/electronics/anttool/decibel.html> o mediante las siguientes fórmulas:

$$P = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad p_0 = 1 \text{ mW} \quad (3.12)$$

$$U = 20 \log \left( \frac{u}{u_0} \right) \quad u_0 = 1 \mu\text{V} \quad (3.13)$$

$$p = \frac{u^2}{Z_c} \quad (3.14)$$

Donde:

$P \rightarrow$  Potencia en dBm

$U \rightarrow$  Potencia en dBuV

$Z_c \rightarrow$  Impedancia de carga, es este caso  $50\Omega$

De donde obtenemos  $P_t = 110 \text{ dBuV} = 3.0103 \text{ dBm}$ .

$$P_p = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi \text{Dist}} \right) [dB]$$

$$P_p = 20 \log \left( \frac{0.4389}{4\pi(2.3)} \right) [dB]$$

$$\boxed{P_p = -36.3714 [dB]}$$

Obtenidas las pérdidas de propagación procedemos a calcular la ganancia de la antena.

$$P_r = P_t + G_{a1} + G_{a2} + P_p [dBm]$$

$$G_{a2} = P_r - P_t - G_{a1} - P_p [dBm]$$

$$G_{a2} = -28.36 - 3.0103 - 2.15 + 36.3714 [dBm]$$

$$\boxed{G_{a2} = 2.8511 [dBm]}$$

### 3.3.MEDICIONES CON ANTENA IMPLEMENTADA N°2

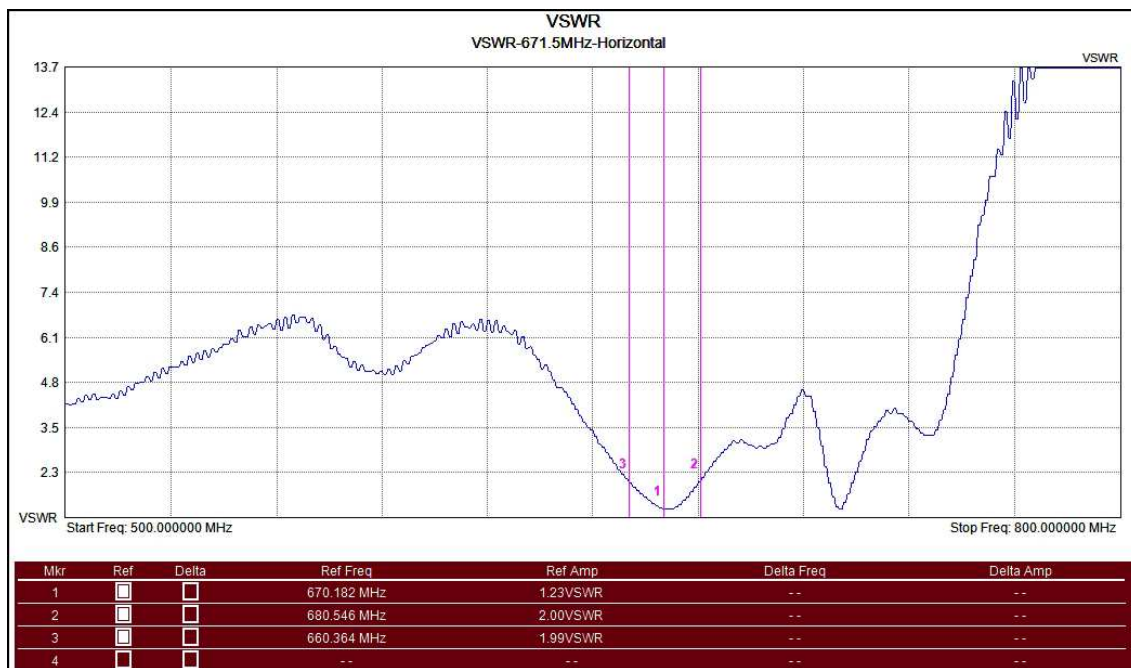


Figura 3. 14 Medición VSWR polarización horizontal antena 671.5MHz

Se procede a revisar los resultados del diseño de la antena 2, determinamos donde se encuentra el valor más bajo y este está mostrado en el marcador 1, de este modo se observa que la frecuencia de operación es de  $670.182\text{MHz}$  con un  $VSWR = 1.23$  siendo un valor cercano al diseñado el cual era de  $671.5\text{MHz}$  y que idealmente tendría un  $VSWR = 1$ . A continuación se puede determinar el ancho de banda de la antena, es decir el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central, el cual el estándar comúnmente es  $VSWR \leq 2$  o  $|\Gamma| \leq 1/3$ , dichos valores están mostrados por los marcadores 2 y 3 correspondientes a las frecuencias  $680.546\text{MHz}$  y  $660.364\text{MHz}$  respectivamente.

$$BW = f_H - f_L \quad (3.15)$$

$$BW = 680.546 - 660.364$$

$$\boxed{BW = 20.182\text{MHz}}$$



Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ), el cual es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión de la antena su máximo valor es 1 y el mínimo  $-1$ , nos basamos en el valor d VSWR obtenido:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.16)$$

$$|\Gamma| = \frac{1.23 - 1}{1.23 + 1}$$

$$|\Gamma| = 0.1031$$

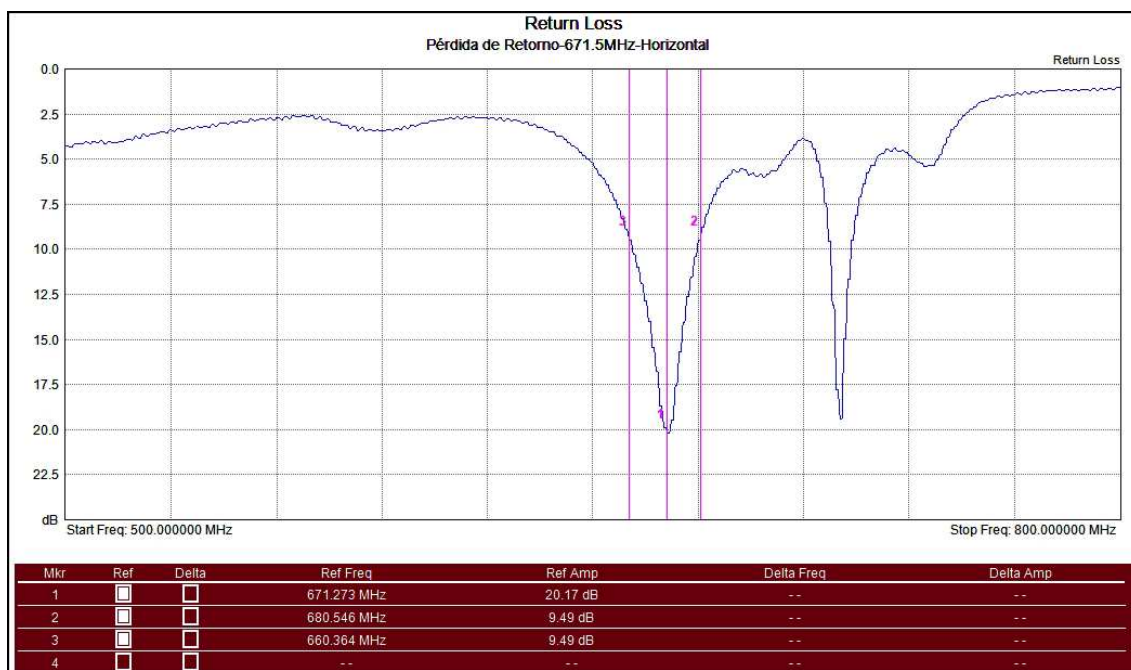


Figura 3. 15 Medición Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 671.5MHz

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

$$RL = 20\log\left(\frac{VSWR-1}{VSWR+1}\right) \quad (3.17)$$

$$RL = 20\log\left(\frac{1.23 - 1}{1.23 + 1}\right)$$

$$RL = 20\log\left(\frac{0.23}{2.23}\right)$$

$$RL = 20\log(0.1031)$$

$$RL = -19.73dB$$

Si se observa el valor de RL de la muestra tomada se tiene que esta es de  $-20.17dB$  mientras que en el cálculo teórico a partir del VSWR obtenido tenemos un valor de  $-19.73dB$ , una pequeña diferencia entre estos valores.

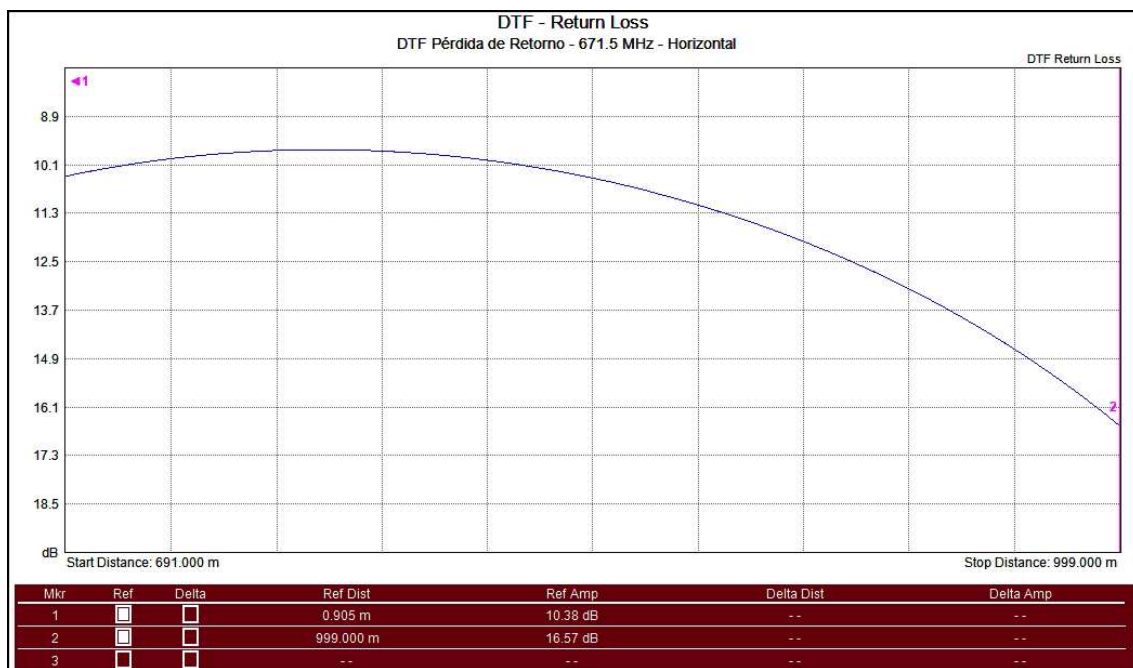


Figura 3. 16 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización horizontal antena 671.5MHz

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en  $-10.38dB$  en los primeros metros, apareciendo una leve disminución y posterior aumento

de este conforme aumenta la distancia hasta llegar a los  $-16.57dB$  a los  $999\ m$ .

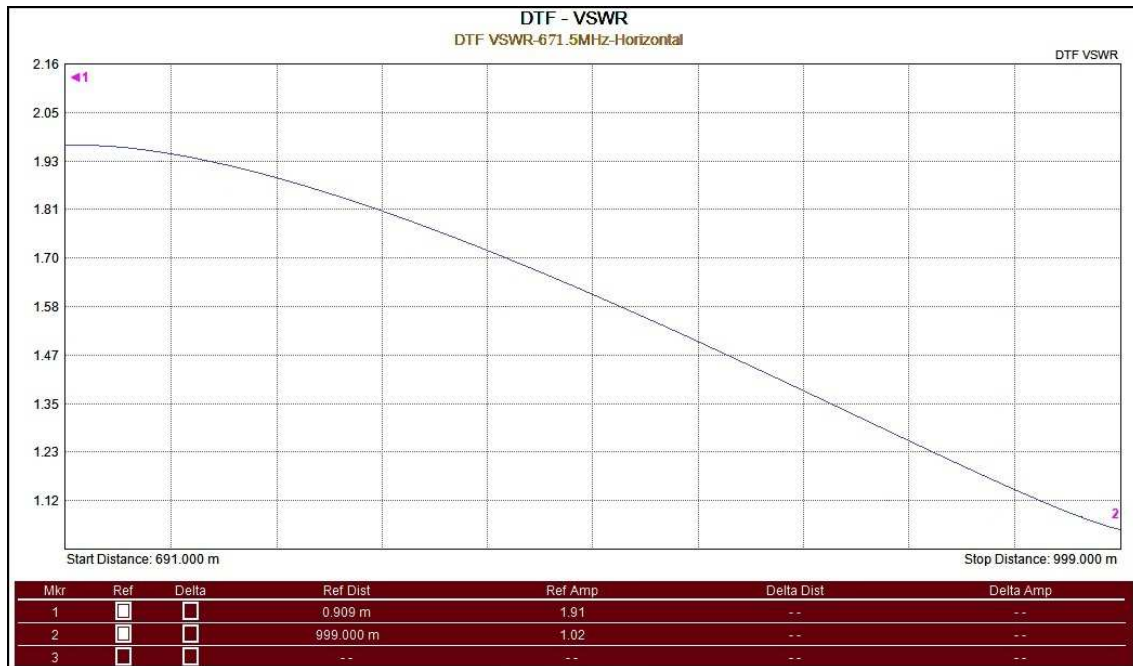


Figura 3. 17 Medición DTF-VSWR polarización horizontal antenna 671.5MHz

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en 1.91, apareciendo a partir de los  $691\ m$  un aumento de la falla hasta llegar a 1.01 a los  $999\ m$ .

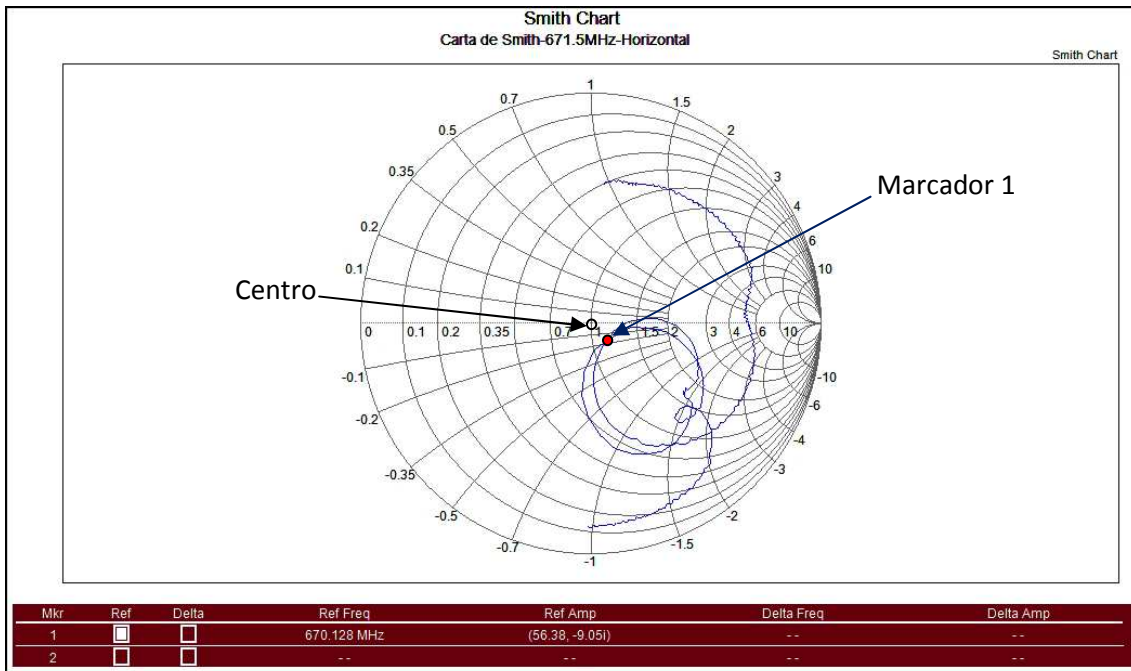


Figura 3. 18 Medición Carta de Smith polarización horizontal antena 671.5MHz

Se puede ver si la antena está correctamente adaptada mediante la carta de Smith, el objetivo es lograr que la frecuencia de trabajo de la antena esté lo más cercana al centro de la carta y como se logra observar con el marcador 1 este se encuentra cerca.

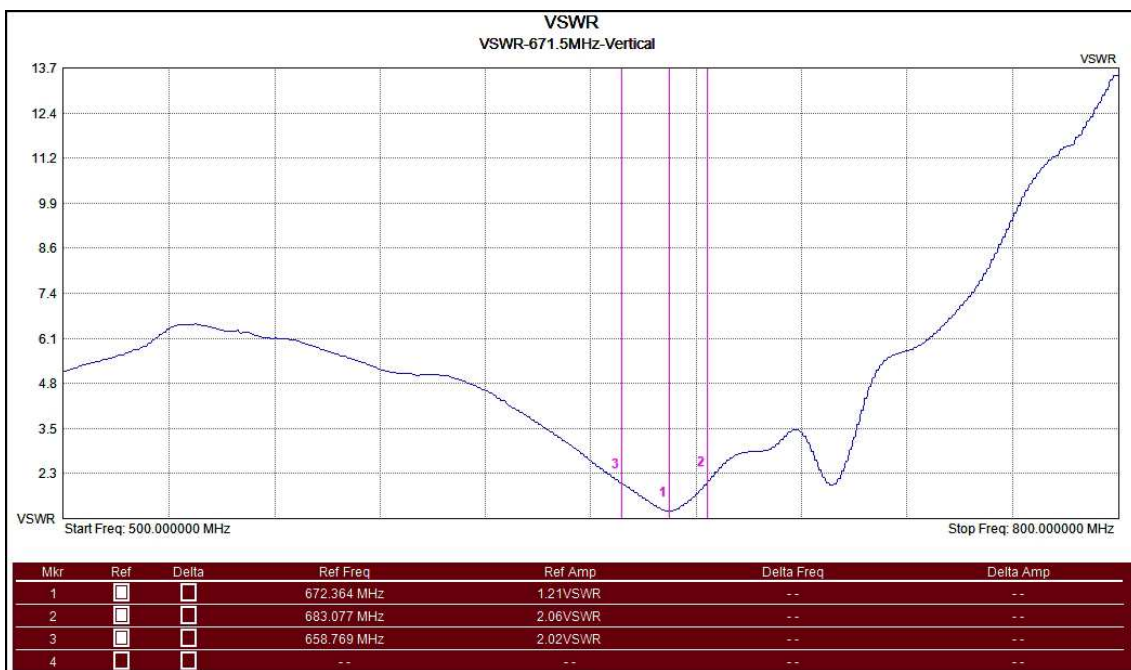


Figura 3. 19 Medición VSWR polarización vertical antena 671.5MHz

Se procede a revisar los resultados del diseño de la antena 2 en polarización vertical, determinamos donde se encuentra el valor más bajo y este está mostrado en el marcador 1, de este modo se observa que la frecuencia de operación es de  $672.364\text{MHz}$  con un  $VSWR = 1.21$  siendo un valor cercano al diseñado el cual era de  $671.5\text{MHz}$  y que idealmente tendría un  $VSWR = 1$ . A continuación se puede determinar el ancho de banda de la antena, es decir el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central, el cual el estándar comúnmente es  $VSWR \leq 2$  o  $|\Gamma| \leq 1/3$ , dichos valores están mostrados por los marcadores 2 y 3 correspondientes a las frecuencias  $683.077\text{MHz}$  y  $658.769\text{MHz}$  respectivamente.

$$BW = f_H - f_L \quad (3.18)$$

$$BW = 683.077 - 658.769$$

$$\boxed{BW = 24.308\text{MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ), el cual es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión de la antena su máximo valor es 1 y el mínimo  $-1$ , nos basamos en el valor de VSWR obtenido:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.19)$$

$$|\Gamma| = \frac{1.21 - 1}{1.21 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma| = 0.095}$$

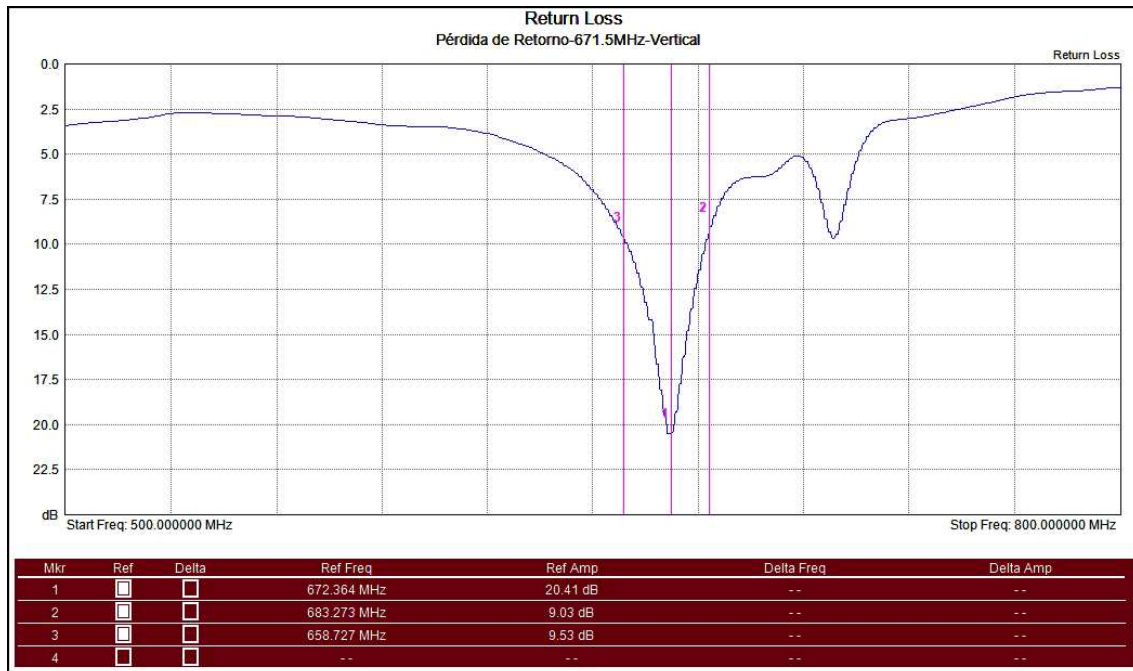


Figura 3. 20 Medición Pérdida de Retorno polarización vertical antena 671.5MHz

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

$$RL = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.20)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{1.21 - 1}{1.21 + 1} \right)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{0.21}{2.21} \right)$$

$$RL = 20 \log(0.095)$$

$$\boxed{RL = -20.44dB}$$

Si se observa el valor de RL de la muestra tomada se tiene que esta es de  $-20.41dB$  mientras que en el cálculo teórico a partir del VSWR obtenido tenemos un valor de  $-20.44dB$ , una pequeña diferencia entre estos valores casi nula.

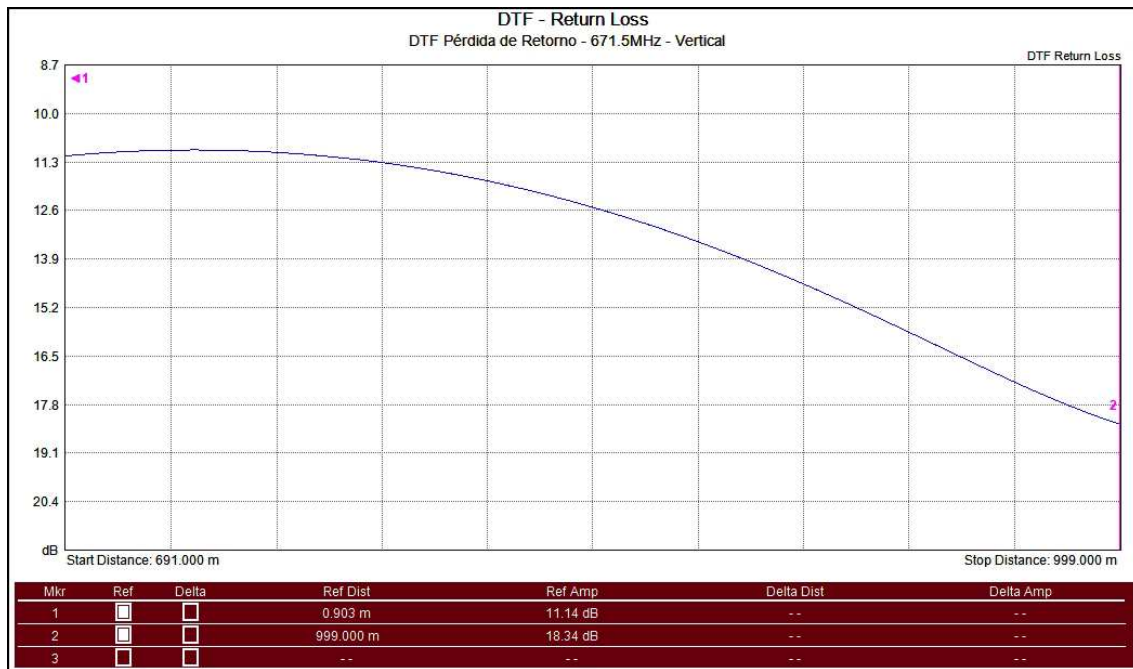


Figura 3. 21 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización vertical antenna 671.5MHz

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en  $-11.14dB$  en los primeros metros, apareciendo un aumento de este conforme aumenta la distancia hasta llegar a los  $-18.34dB$  a los  $999 m$ .

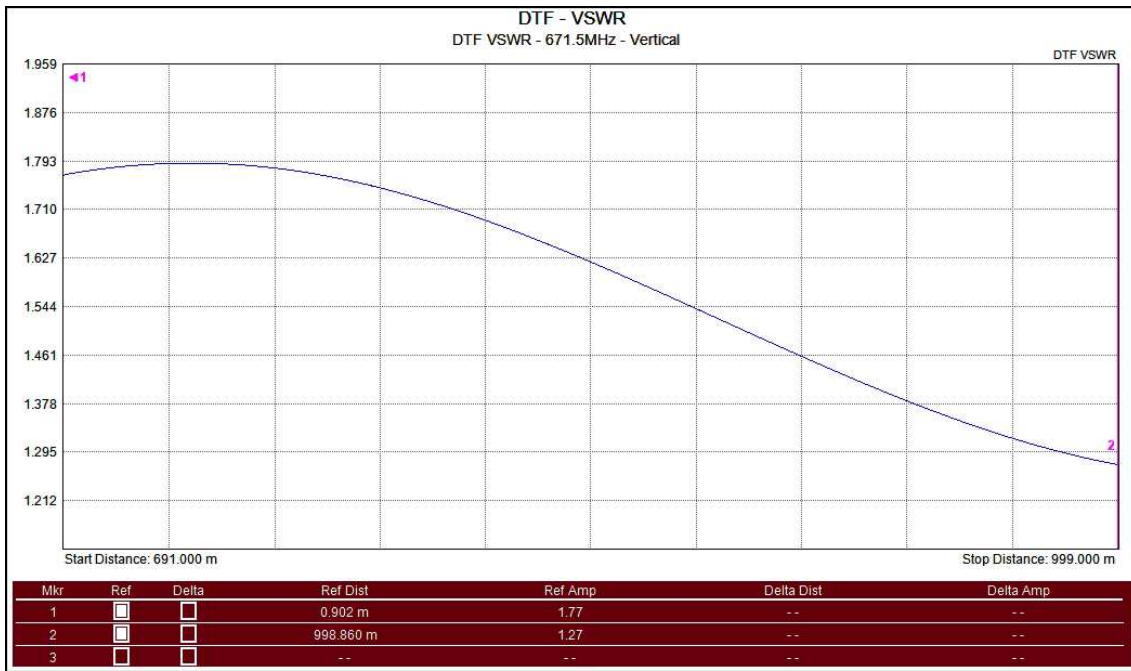


Figura 3. 22 Medición DTF-VSWR polarización vertical antenna 671.5MHz

Se logra observar que no existen fallas en el sistema de transmisión de la antena debido que este se mantiene constante en 1.77, apareciendo a partir de los 691 m una leve disminución para luego tener un aumento de la falla hasta llegar a 1.27 a los 998.860 m.

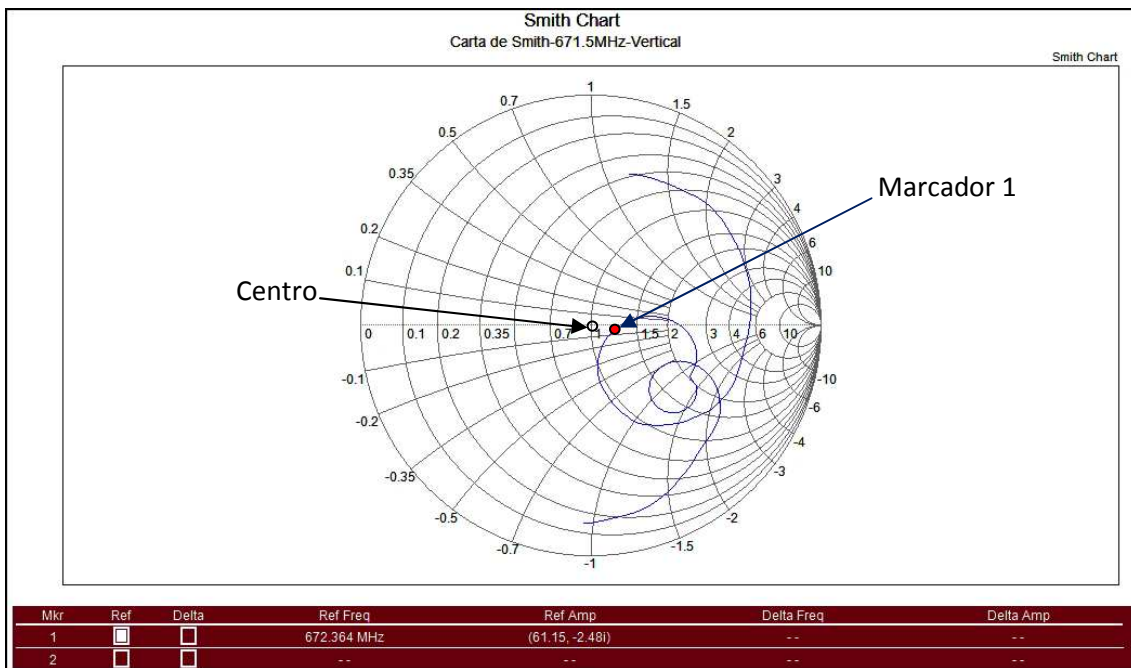


Figura 3. 23 Medición Carta de Smith polarización vertical antenna 671.5MHz



Mediante la carta de Smith se procede a verificar también el diseño de nuestra antena que tan bien hecha está, para esto el valor de la frecuencia a la cual está trabajando nuestra antena debe estar lo más cercana al centro de esta, y como se logra observar con el marcador 1 estos valores están muy cercanos.

A continuación se realizaron medidas con la antena diseñada en recepción y una antena dipolo en transmisión en la frecuencia de trabajo de  $671.5\text{MHz}$ . Se ajusta el instrumento en modo analizador de espectros y con ayuda de un generador de señal para la transmisión y de un motor controlador para ir variando el ángulo de la antena receptora para mayor exactitud, se realizará la toma de datos en espacios de  $5^\circ$ .

Lo que primero se debe analizar para tomar los datos es la separación entre las antenas trasmisora y receptora. Para ello, las antenas deberán estar separadas una distancia mayor a la requerida para operar en el campo lejano  $Ff$  (Far field) o conocida como distancia de Fraunhofer con el fin de reducir los efectos de proximidad y multitrayectorias, la cual se obtiene de:

$$Ff = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (3.21)$$

Donde:

$D \rightarrow$  Dimensión real física de la antena [m]

$\lambda \rightarrow$  Longitud de onda [m]

De los datos del diseño podemos obtener la dimensión total de la antena la cual es de  $0.54\text{m}$ , la frecuencia de trabajo es  $671.5\text{MHz}$ , entonces:

$$Ff = \frac{2(0.54\text{m})^2}{\left(\frac{3 \times 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{671.5 \times 10^6 \text{Hz}}\right)}$$

$$Ff = \frac{2(0.2916\text{m}^2)}{0.4468\text{m}}$$

$$\boxed{Ff = 1.3054\text{m}}$$

La distancia para realizar las mediciones debe ser mayor a  $1.31 m$  por lo cual estas se realizaran a una separación de  $2.3 m$ .

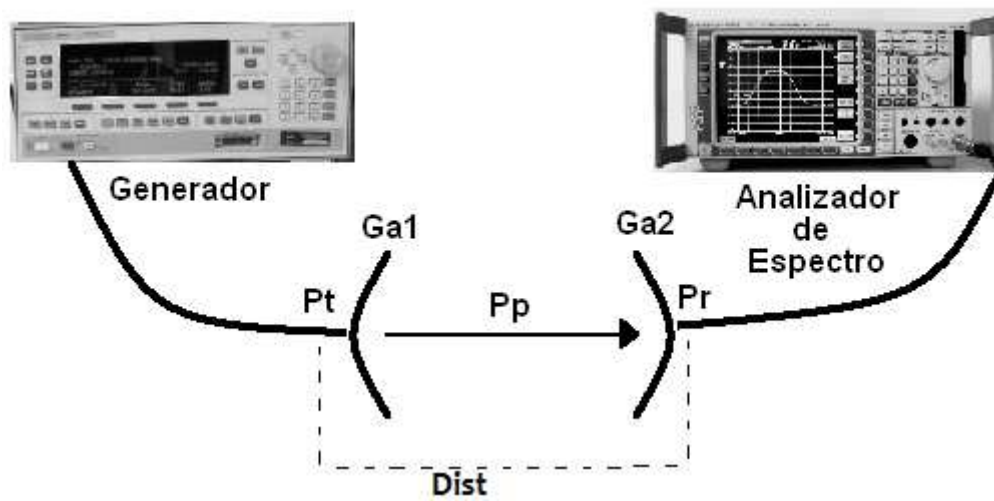


Figura 3. 24 Esquema para cálculo de ganancia de antena diseñada

Tabla 3. 2 Puntos de referencia para Patrón de Radiación Antena 2

Ángulo	dBm
0°	-25.58
5°	-25.87
10°	-26.62
15°	-27.34
20°	-28.43
25°	-30.02
30°	-31.59
35°	-34.59
40°	-36.58
45°	-39.4
50°	-43.96
55°	-45.02
60°	-48.28
65°	-43.6
70°	-42.88
75°	-40.64
80°	-42.78
85°	-43.1
90°	-47.1
95°	-48.95
100°	-45.81
105°	-41.66
110°	-41.58
115°	-41.24
120°	-43.1
125°	-46.71
130°	-49.63
135°	-46.97
140°	-45.78
145°	-45.86
150°	-45.82
155°	-55.09

160°	-57.73
165°	-46.96
170°	-43.46
175°	-39.4
180°	-37.66
185°	-36.43
190°	-35.26
195°	-34.71
200°	-34.44
205°	-34.69
210°	-34.54
215°	-34.51
220°	-34.66
225°	-34.76
230°	-35.27
235°	-35.26
240°	-36.27
245°	-37.84
250°	-38.67
255°	-41.3
260°	-43.34
265°	-44.74
270°	-49.19
275°	-52.99
280°	-48.45
285°	-43.13
290°	-40.79
295°	-40.48
300°	-40.9
305°	-43.07
310°	-50.06
315°	-48.36
320°	-41.18
325°	-37.12
330°	-34.85

335°	-33.18
340°	-30.22
345°	-28.84
350°	-27.66
355°	-26.1
360°	-25.58

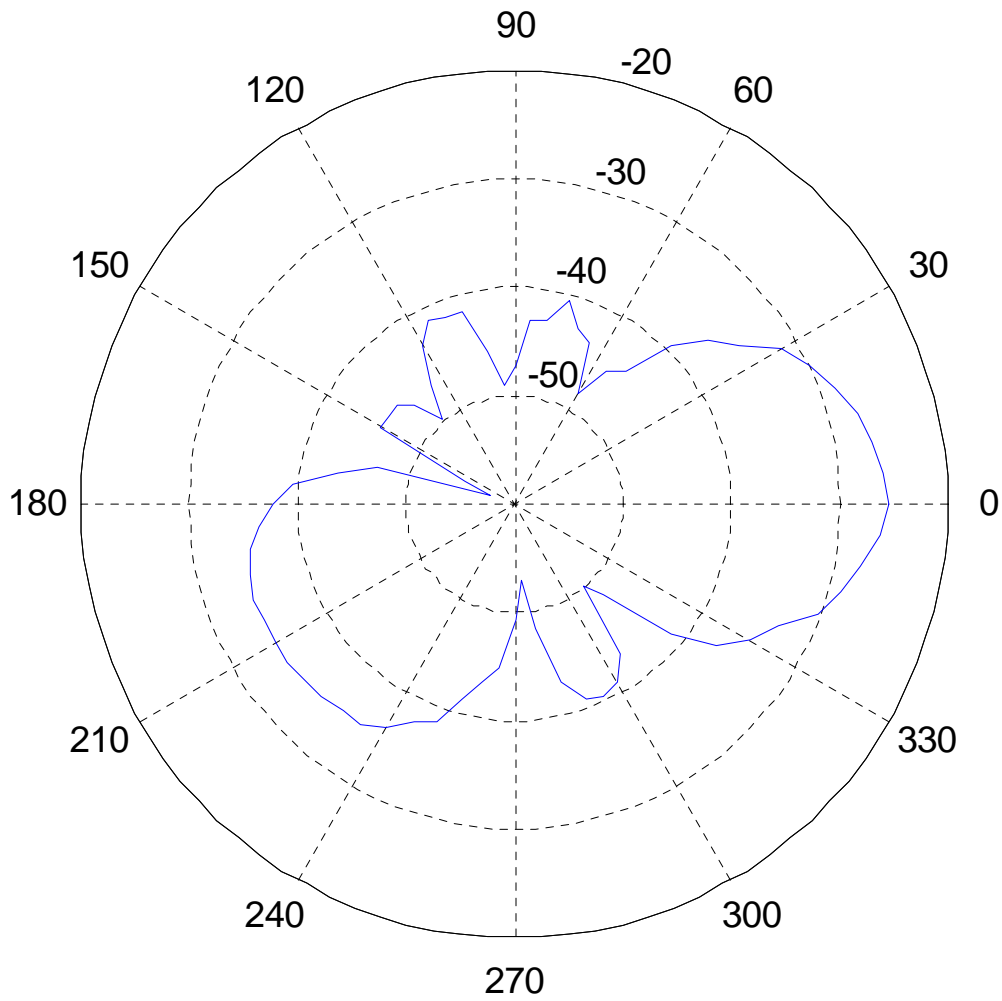


Figura 3. 25 Patrón de Radiación de antena de 671.5MHz

Para el obtener el valor de ganancia de nuestra antena en prueba usamos una antena patrón la cual ya se tienen los datos de fabricante, esto se calcula mediante la ecuación de transmisión de Friis:

$$\frac{Pr}{Pt} = \frac{Ga1(Ga2)\lambda^2}{(4\pi Dist)^2} \quad (3.22)$$

Donde:

$Pr \rightarrow$  Potencia recibida por antena en prueba

$Pt \rightarrow$  Potencia transmitida por antena patrón

$Ga1 \rightarrow$  Ganancia antena patrón

$Ga2 \rightarrow$  Ganancia antena en prueba

$Dist \rightarrow$  Distancia entre las dos antenas mayor a  $Ff$

De donde la potencia recibida se puede expresar en  $dBm$ :

$$10 \log(Pr) = 10 \log \left( Pt \frac{Ga1(Ga2)\lambda^2}{(4\pi Dist)^2} \right) \quad (3.23)$$

$$Pr = Pt + Ga1 + Ga2 + Pp \text{ [dBm]} \quad (3.24)$$

Donde:

$$Pp = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi Dist} \right) \text{ [dB]} \quad (3.25)$$

Siendo  $Pp$  las pérdidas de propagación.

Los datos necesarios para el cálculo de la antena en prueba son los siguientes:

$$Dist = 2.3 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.4468 \text{ m}$$

$$Pr = -25.58 \text{ dBm}$$

$$Pt = 110 \text{ dBuV}$$

$$Ga1 = 2.15 \text{ dBi}$$

Los valores de  $Pt$  y  $Ga1$  son valores dados por el fabricante, sin embargo debemos convertir  $Pt$  en de  $dBuV$  a  $dBm$ , para ello podemos usar conversores en internet como <http://www.giangrandi.ch/electronics/anttool/decibel.html> o mediante las siguientes fórmulas:

$$P = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad p_0 = 1 \text{ mW} \quad (3.26)$$

$$U = 20 \log \left( \frac{u}{u_0} \right) \quad u_0 = 1 \mu V \quad (3.27)$$

$$p = \frac{u^2}{Z_c} \quad (3.28)$$

Donde:

$P \rightarrow$  Potencia en dBm

$U \rightarrow$  Potencia en dBuV

$Z_c \rightarrow$  Impedancia de carga, es este caso  $50\Omega$

De donde obtenemos  $P_t = 110 \text{ dBuV} = 3.0103 \text{ dBm}$ .

$$P_p = 20 \log\left(\frac{\lambda}{4\pi \text{Dist}}\right) [\text{dB}]$$

$$P_p = 20 \log\left(\frac{0.4468}{4\pi(2.3)}\right) [\text{dB}]$$

$$\boxed{P_p = -36.2165 [\text{dB}]}$$

Obtenidas las pérdidas de propagación procedemos a calcular la ganancia de la antena.

$$P_r = P_t + G_{a1} + G_{a2} + P_p [\text{dBm}]$$

$$G_{a2} = P_r - P_t - G_{a1} - P_p [\text{dBm}]$$

$$G_{a2} = -25.58 - 3.0103 - 2.15 + 36.2165 [\text{dBm}]$$

$$\boxed{G_{a2} = 5.4762 [\text{dBm}]}$$

### 3.4.MEDICIONES CON ANTENAS ADQUIRIDAS YA FABRICADAS

La primera antena con la cual se van a hacer las pruebas es la QP-2424G, la cual es una antena wireless LAN de grilla de alto rendimiento, trabaja en las frecuencias  $2.4 - 2.5\text{GHz}$ , tiene una ganancia de  $24\text{dBi}$  y un  $VSWR < 1.5$  siendo promedio 1.



Figura 3. 26 Antena QP-2424G

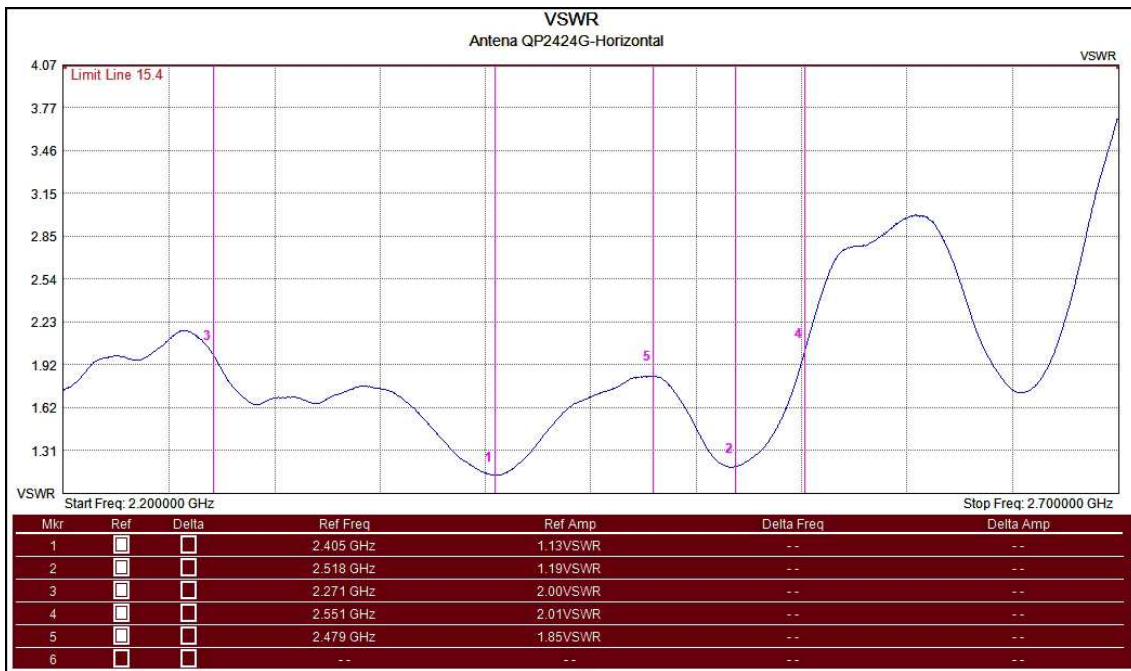


Figura 3. 27 Medición VSWR polarización horizontal antena QP-2424G

Los picos más bajos se encuentran a  $2.405\text{GHz}$  y  $2.518\text{GHz}$  en los cuales tiene un valor de  $VSWR = 1.13$  y  $1.19$  respectivamente, lo cual confirma la especificación del fabricante de un  $VSWR < 1.5$ . Entre ellas hay un incremento de  $VSWR = 1.85$  a los  $2.479\text{GHz}$ .

Se procederá a ver en ancho de banda en el cual está trabajando la antena.

$$BW = f_H - f_L \quad (3.29)$$

$$BW = 2.551 - 2.271$$

$$\boxed{BW = 0.28\text{GHz} = 280\text{MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ) de la antena cuyo máximo valor es 1 y el mínimo  $-1$ , nos basamos en el valor de  $VSWR$  obtenido, primero para un  $VSWR = 1.13$  y luego para un  $VSWR = 1.19$ :

$$|\Gamma_1| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.30)$$

$$|\Gamma_1| = \frac{1.13 - 1}{1.13 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma_1| = 0.061}$$

$$|\Gamma_2| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.31)$$

$$|\Gamma_2| = \frac{1.19 - 1}{1.19 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma_2| = 0.087}$$



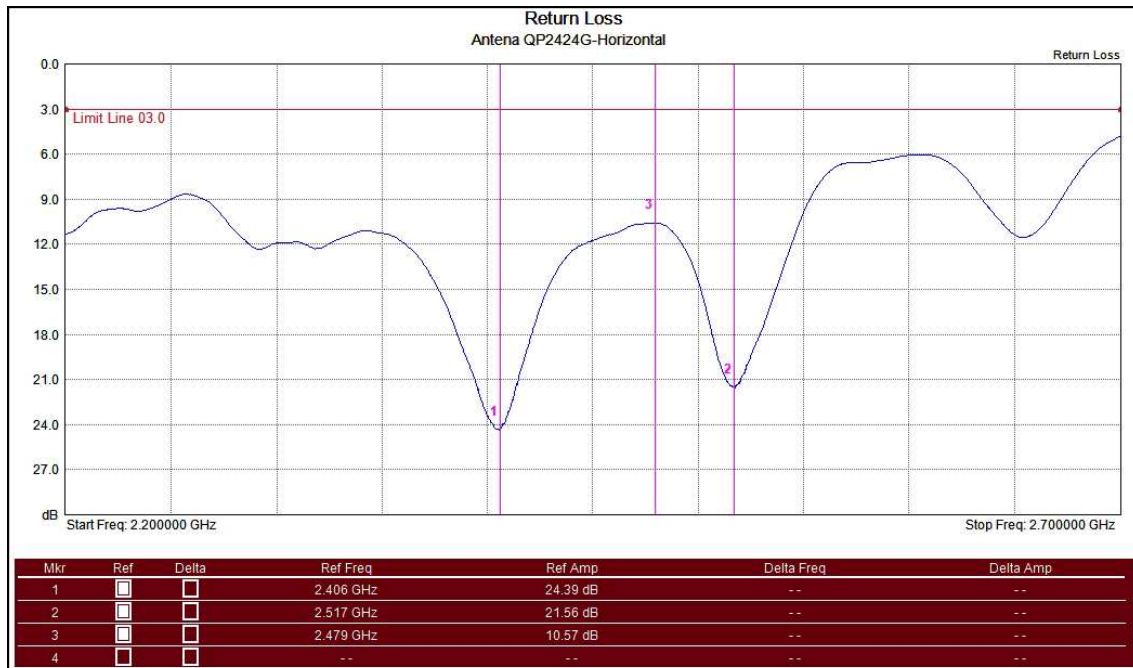


Figura 3. 28 Medición Pérdida de Retorno polarización horizontal antena QP-2424G

Ahora el cálculo de pérdida de retorno mediante VSWR, primero para un  $VSWR = 1.13$  y a continuación para un  $VSWR = 1.19$ .

$$RL_1 = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.32)$$

$$RL_1 = 20 \log \left( \frac{1.13 - 1}{1.13 + 1} \right)$$

$$RL_1 = 20 \log \left( \frac{0.13}{2.13} \right)$$

$$\boxed{RL_1 = -24.289dB}$$

$$RL_2 = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.33)$$

$$RL_2 = 20 \log \left( \frac{1.19 - 1}{1.19 + 1} \right)$$

$$RL_2 = 20 \log \left( \frac{0.19}{2.19} \right)$$

$$\boxed{RL_2 = -21.234dB}$$

Mediante el uso del VSWR los valores de RL calculados son  $-24.289dB$  y  $-21.234$ , mientras que los valores en el analizador de antenas es de  $-24.39dB$  y  $-21.56dB$  respectivamente que se ve son muy cercanos teóricos de prácticos.

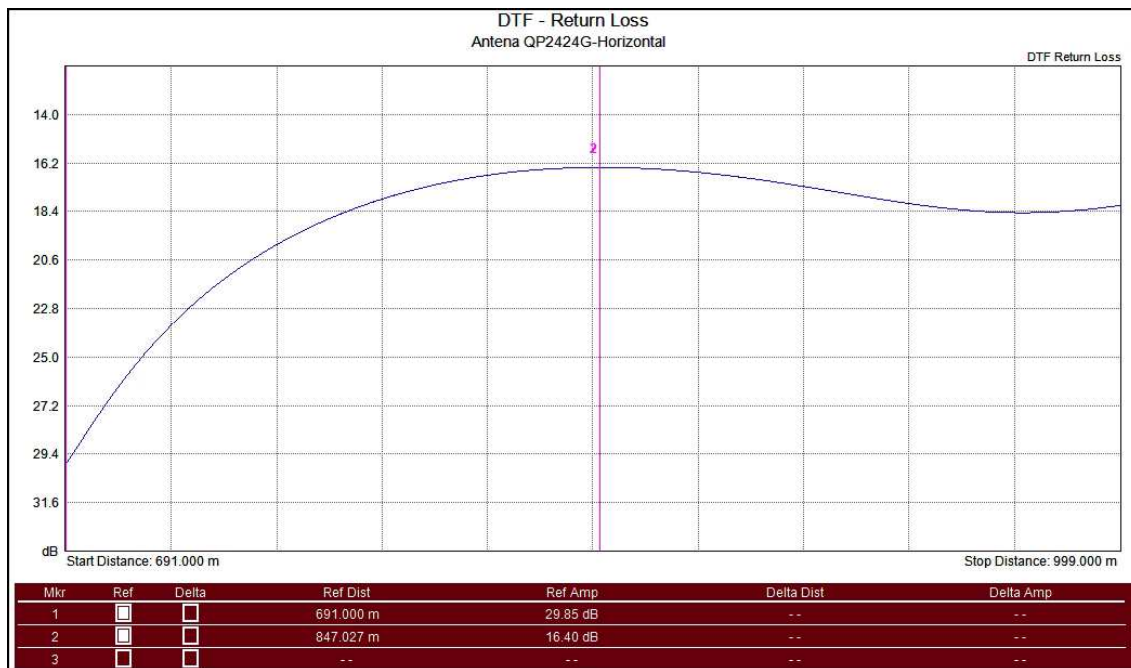


Figura 3. 29 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización horizontal antena QP-2424G

La distancia a la falla en los primeros metros no se encuentra problemas y es constante en  $-29.85dB$  teniendo un pico a los  $847.027 m$  con un valor de  $-16.40dB$ .

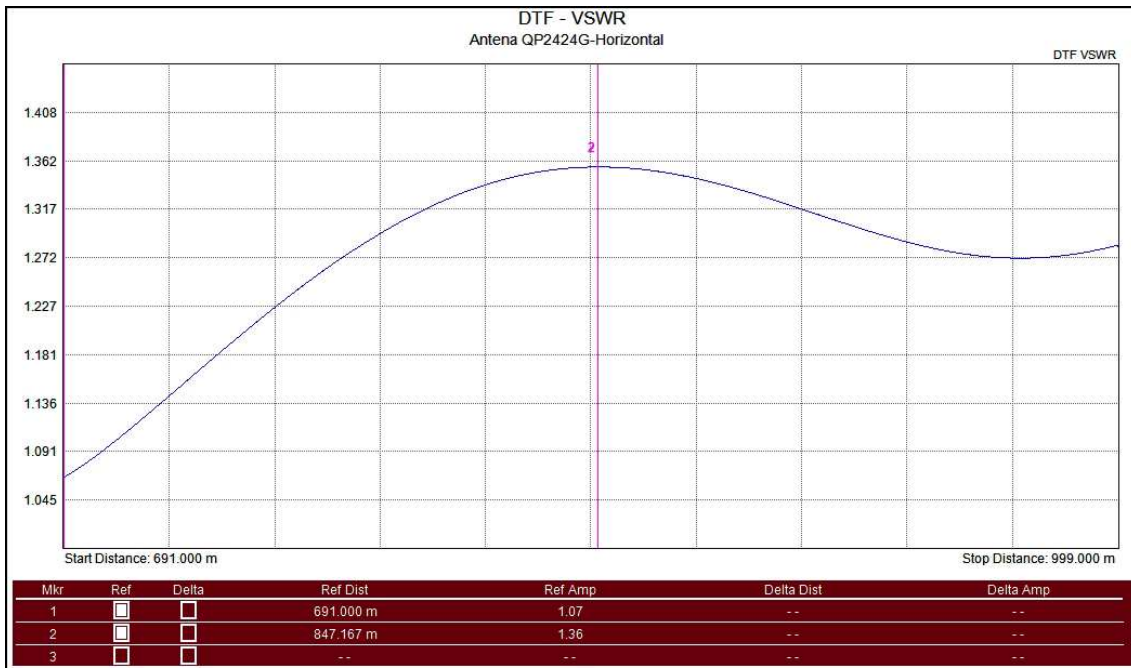


Figura 3. 30 Medición DTF-VSWR polarización horizontal antena QP-2424G

Al igual que en la anterior medición en esta tampoco refleja ninguna falla siendo esta de 1.07 constante los primeros metros alcanzando un pico de 1.36 a los 847.167 m.

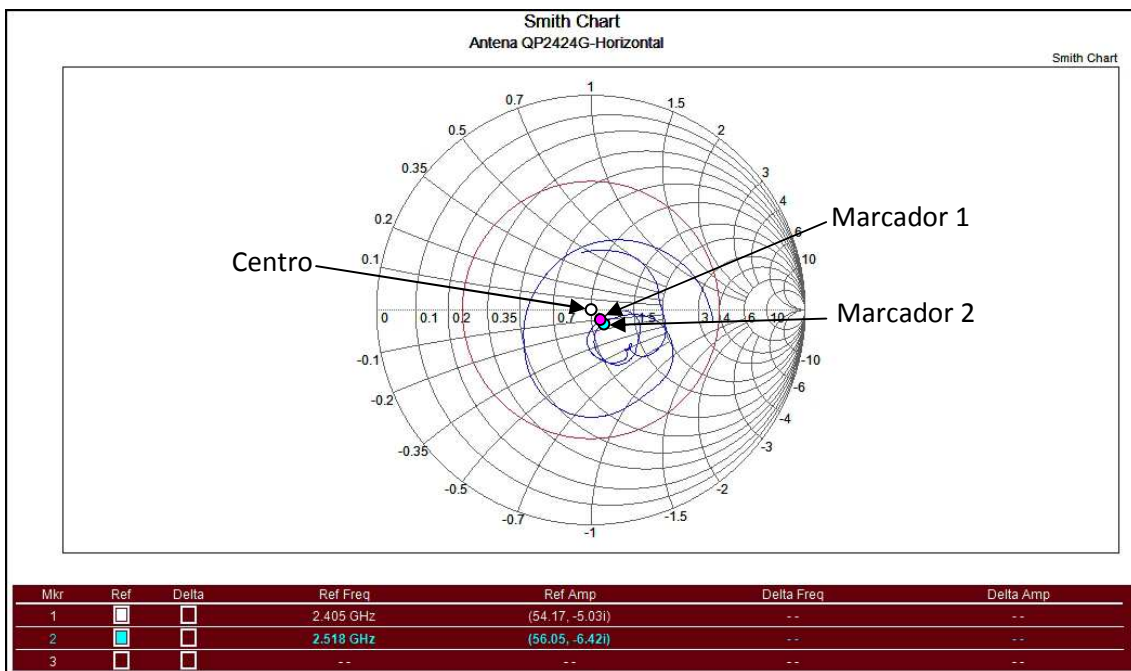


Figura 3. 31 Medición Carta de Smith polarización horizontal antena QP-2424G

Para ver que tan bien construida está la antena se procede a ver los valores de las frecuencias de resonancia que tan cerca del centro están, esto se logra verificar mediante el marcador 1 y el marcador 2.

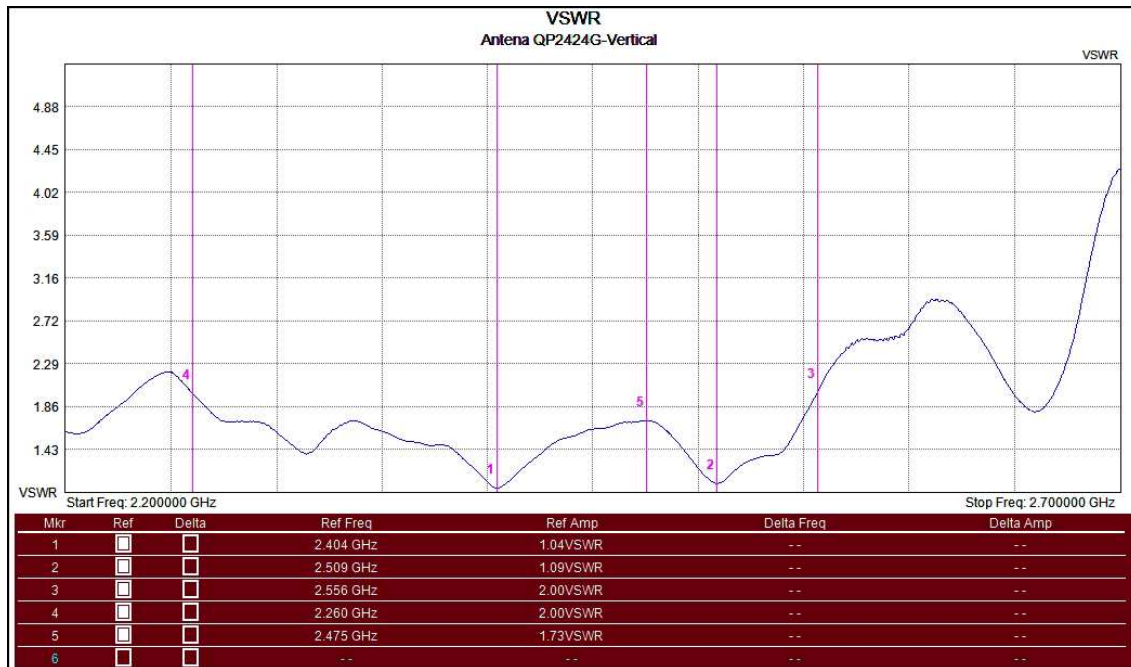


Figura 3. 32 Medición VSWR polarización vertical antena QP-2424G

Ahora en cambio para la polarización vertical los picos más bajos se encuentran a  $2.404\text{GHz}$  y  $2.509\text{GHz}$  en los cuales tiene un valor de VSWR de 1.04 y 1.09 respectivamente, lo cual confirma la especificación del fabricante de un  $VSWR < 1.5$ . Entre ellas hay un incremento de  $VSWR = 1.73$  a los  $2.475\text{GHz}$ .

Se procederá a ver en ancho de banda en el cual está trabajando la antena.

$$BW = f_H - f_L \quad (3.34)$$

$$BW = 2.556 - 2.260$$

$$\boxed{BW = 0.296\text{GHz} = 296\text{MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ) de la antena cuyo máximo valor es 1 y el mínimo -1, nos basamos en el valor d

VSWR obtenido, primero para un  $VSWR = 1.04$  y luego para un  $VSWR = 1.09$ .

$$|\Gamma_1| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.35)$$

$$|\Gamma_1| = \frac{1.04 - 1}{1.04 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma_1| = 0.0196}$$

$$|\Gamma_2| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (3.36)$$

$$|\Gamma_2| = \frac{1.09 - 1}{1.09 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma_2| = 0.0431}$$

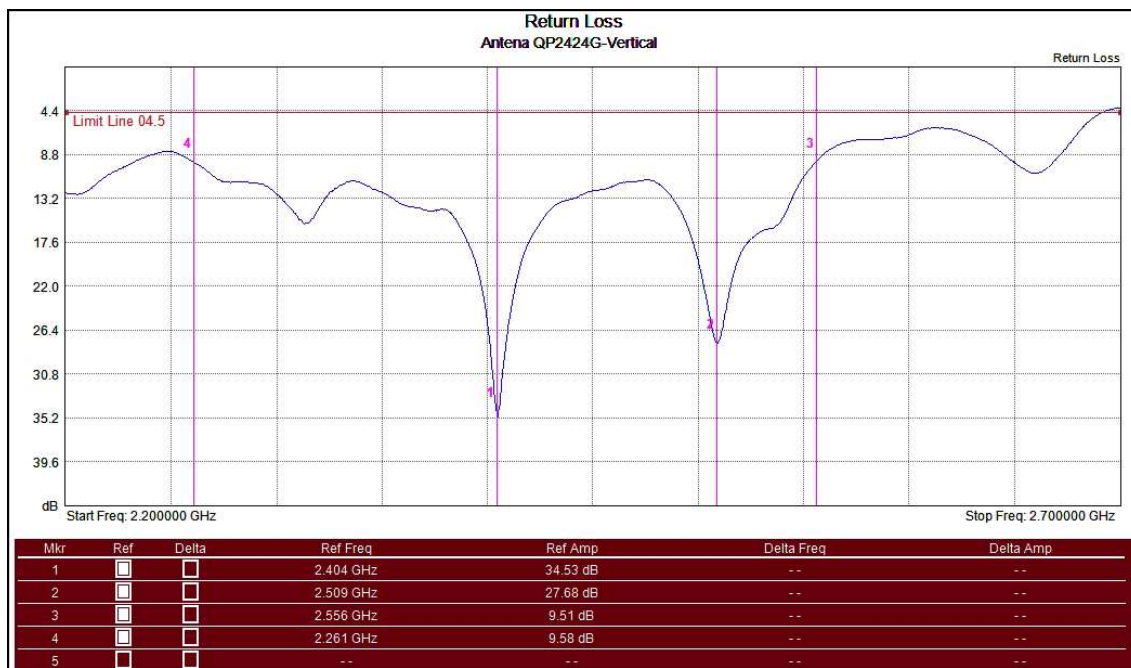


Figura 3. 33 Medición Pérdida de Retorno polarización vertical antena QP-2424G

Ahora el cálculo de pérdida de retorno mediante VSWR, primero para un  $VSWR = 1.04$  y a continuación para un  $VSWR = 1.09$ .

$$RL_1 = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.37)$$

$$RL_1 = 20 \log \left( \frac{1.04 - 1}{1.04 + 1} \right)$$

$$RL_1 = 20 \log \left( \frac{0.04}{2.04} \right)$$

$$\boxed{RL_1 = -34.151dB}$$

$$RL_2 = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (3.38)$$

$$RL_2 = 20 \log \left( \frac{1.09 - 1}{1.09 + 1} \right)$$

$$RL_2 = 20 \log \left( \frac{0.09}{2.09} \right)$$

$$\boxed{RL_2 = -27.318dB}$$

Mediante el uso del VSWR los valores de RL calculados son  $-34.151dB$  y  $-27.318dB$ , mientras que los valores en el analizador de antenas es de  $-34.53dB$  y  $-27.68dB$  respectivamente que se ve son muy cercanos teóricos de prácticos.

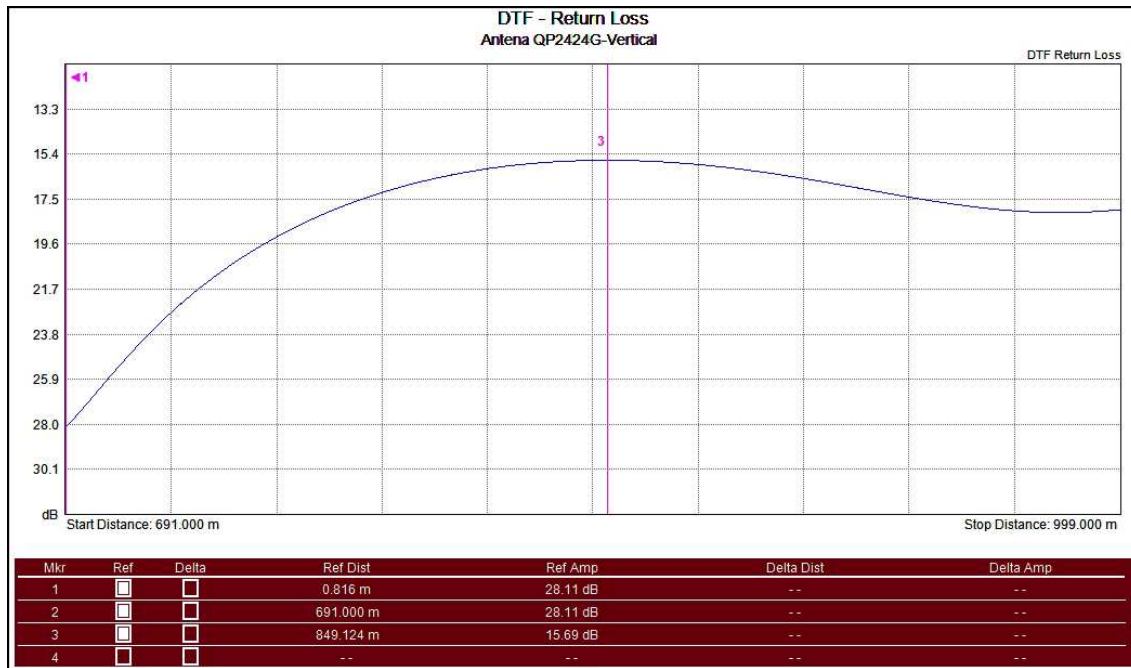


Figura 3. 34 Medición DTF-Pérdida de Retorno polarización vertical antena QP-2424G

El sistema no tiene fallos como se ve en los primeros metros se mantiene constante con una amplitud de  $-28.11dB$ , originándose un pico a los  $849.124\ m$  con una amplitud de  $-15.69dB$ .

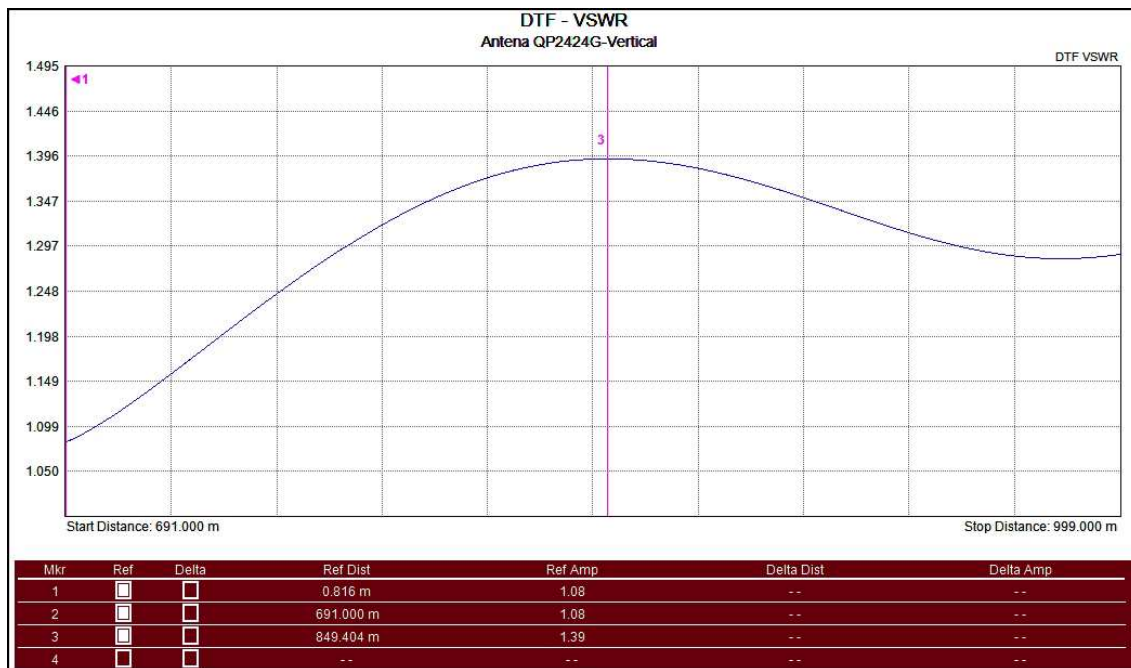


Figura 3. 35 Medición DTF-VSWR polarización vertical antena QP-2424G

Usando este modo también se puede ratificar que no existen fallos en los primeros metros del sistema siendo este constante en 1.08 apareciendo un pico a los 849.404 ms con un valor de 1.39.

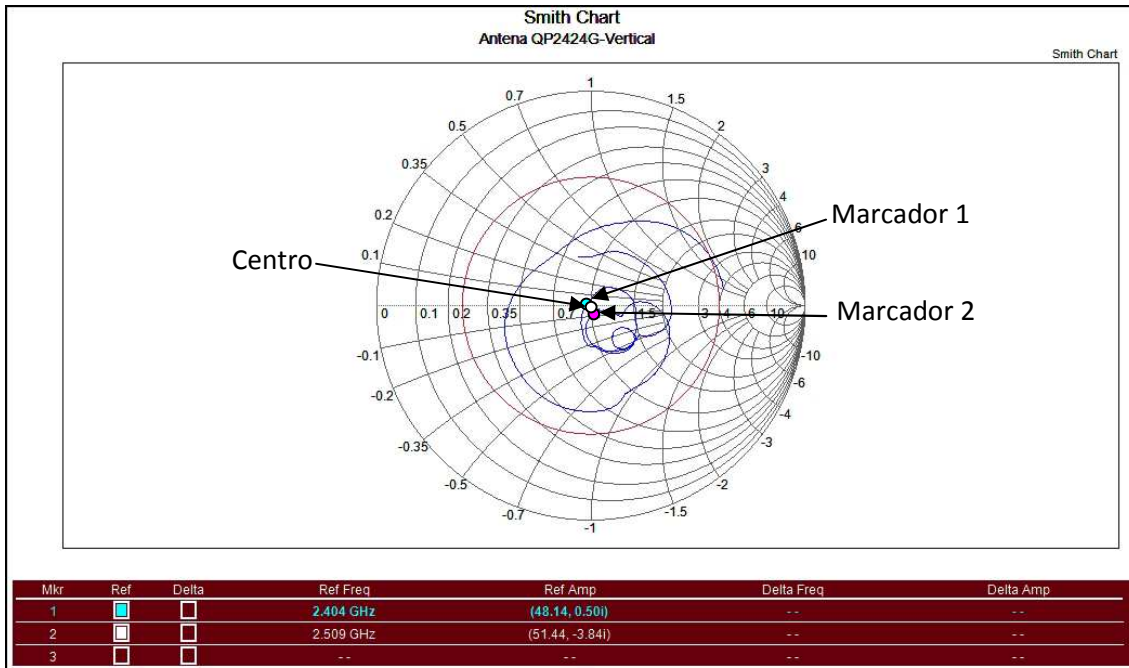


Figura 3. 36 Medición Carta de Smith polarización vertical antena QP-2424G

Se observa que en las frecuencias en las cuales trabaja la antena sus valores están próximas al centro de la carta por lo que se ve que está bien diseñada.





Figura 3. 37 Antena WA-850TG

La otra antena que se harán pruebas es la WA-850TG la cual es una antena VHF/UHF/FM que funciona en el rango de frecuencia 45 – 860MHz lo cual representa en VHF los canales del 1 al 12 y en UHF de 21 al 69, con alta ganancia, bajo ruido, rotación de 360º, a prueba de lluvia con dos directores y dos dipolos para una buena recepción.

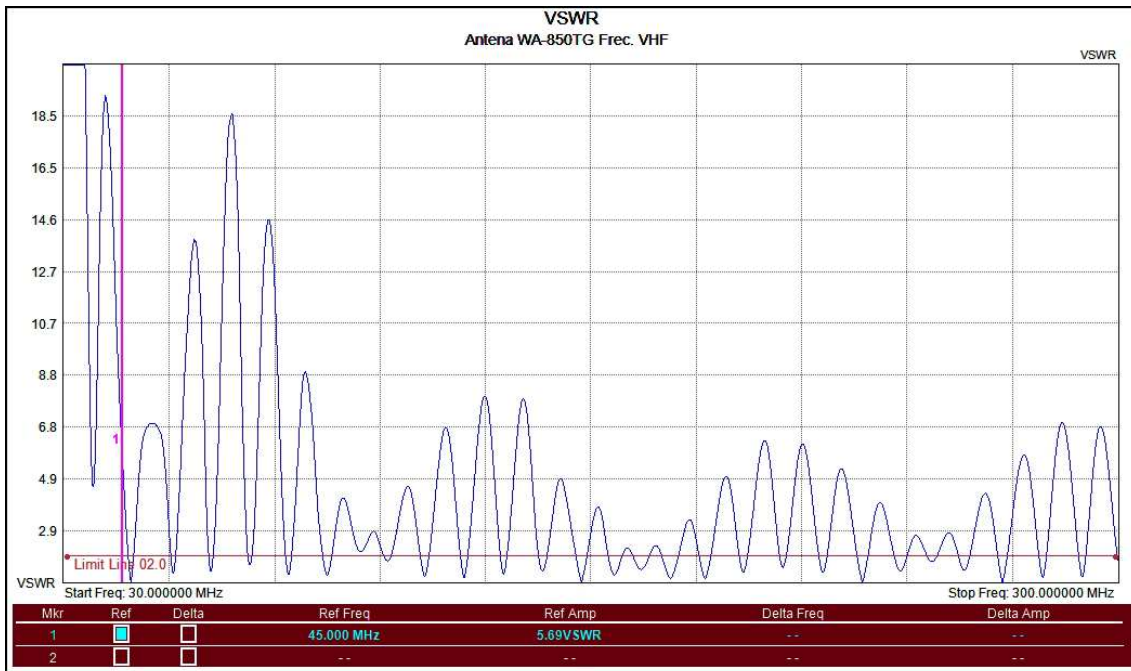


Figura 3. 38 Medición VSWR para VHF Antena WA-850TG

La frecuencia para VHF va de 30MHz a 300MHz, pero la antena está diseñada para funcionar desde los 45MHz y es el lugar en el cual está el marcador 1, se logra observar que existen varios valores por debajo de 2 que es la línea límite para ver que hay captación de varios canales.

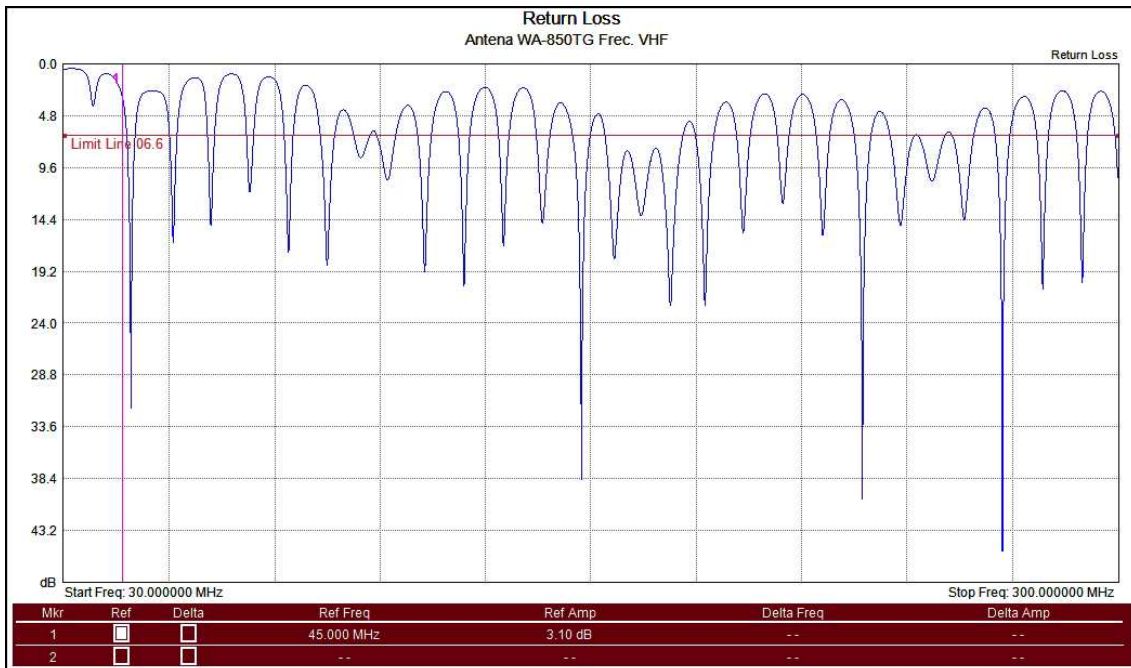


Figura 3. 39 Medición Pérdida de Retorno para VHF Antena WA-850TG

Como se puede ver las pérdidas de retorno dentro del rango en el cual opera la antena no muestran que exista una gran mucha potencia reflejada teniendo gran eficiencia esta antena en las frecuencias en las cuales está funcionando.

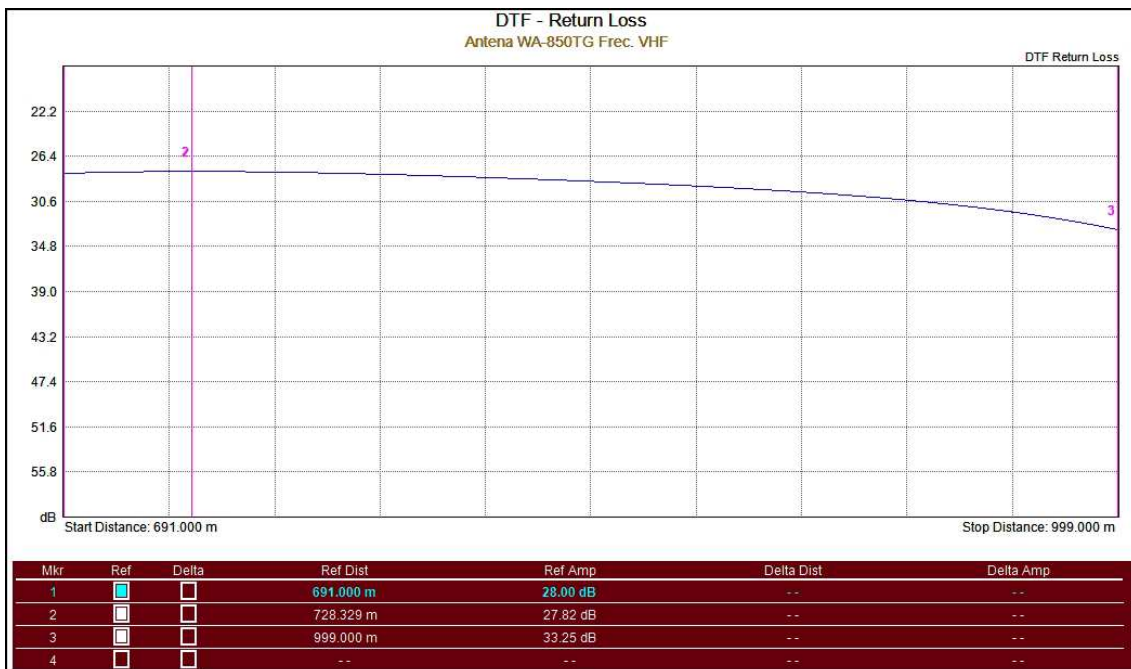


Figura 3. 40 Medición DTF-Pérdida de Retorno para VHF Antena WA-850TG

Al verificar la distancia a la falla en el sistema se ve que tiene una amplitud constante de  $-28dB$  alcanzando un pico a los  $728.329\text{ ms}$  de  $-27.82dB$  y encontrando su punto más bajo a los  $999\text{ m}$  de  $-33.25dB$ .



Figura 3. 41 Medición DTF-VSWR para VHF Antena WA-850TG

Por medio de este modo se logra ver el mismo resultado que el anterior, no se observan fallas en el sistema en los primeros metro siendo constante en 1.08 apareciendo un pico a los  $728.329\text{ m}$  de 1.09 y luego descendiendo hasta 1.04.

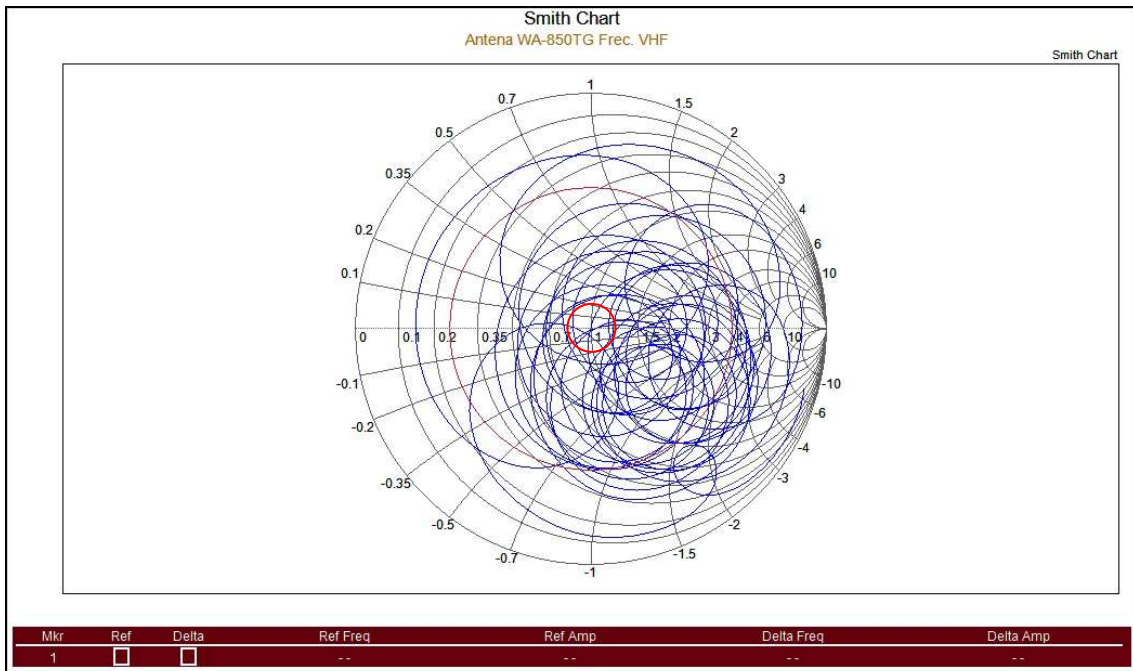


Figura 3. 42 Medición Carta de Smith para VHF Antena WA-850TG

Se logra observar como hay varios cruces por el centro de la carta y otros próximos al centro con lo cual se verifica el correcto trabajo de la antena en dicho rango de frecuencias para VHF.

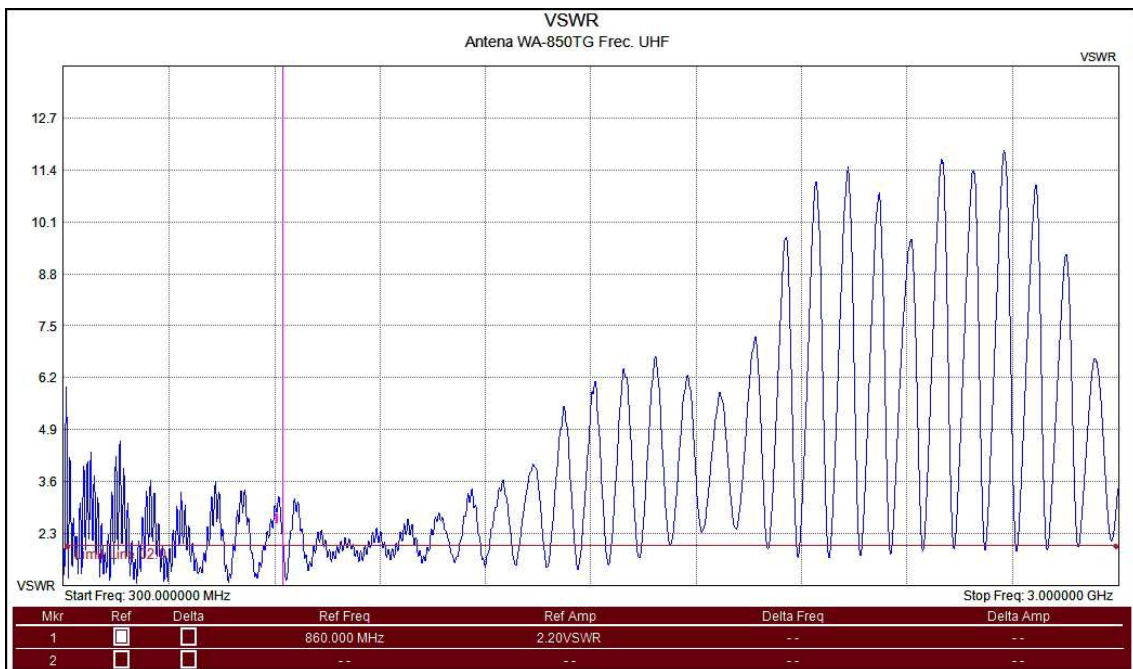


Figura 3. 43 Medición VSWR para UHF Antena WA-850TG

Ahora con la antena se verificara tu trabajo en UHF cuyo rango de frecuencia es de los  $300\text{MHz}$  a los  $3000\text{MHz}$ , pero esta antena funciona hasta los  $860\text{MHz}$  que es hasta donde muestra el marcador 1. Se observa los valores que están bajo la línea de referencia que se encuentra en un valor de 2 son los correspondientes a las frecuencias en las cuales capta la antena los diferentes canales.

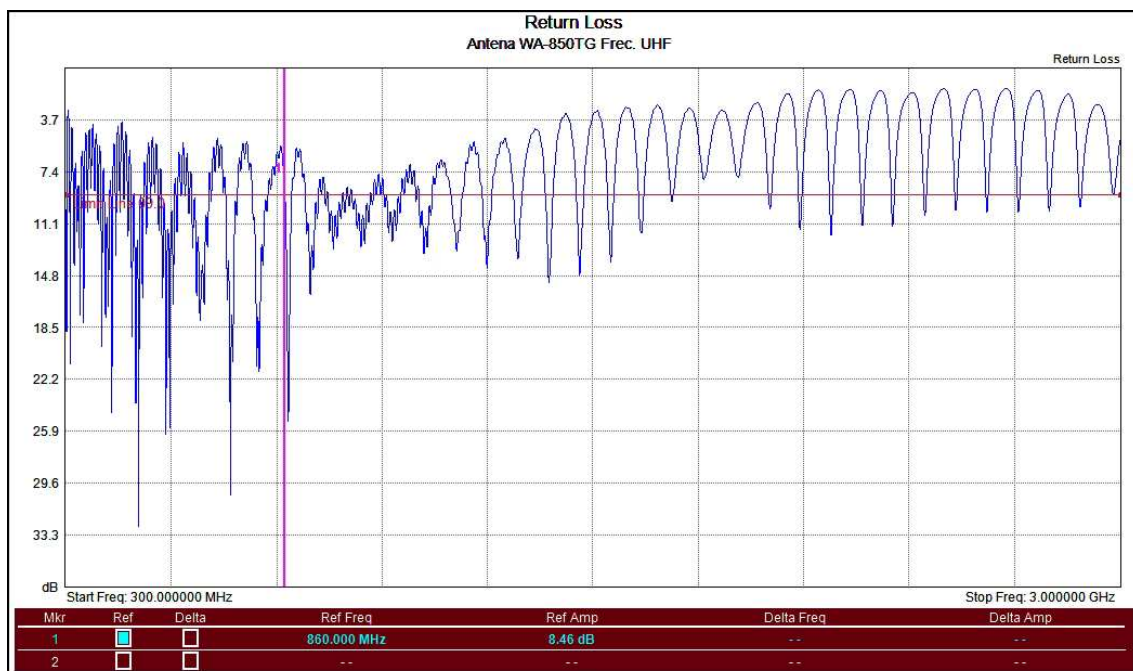


Figura 3. 44 Medición Pérdida de Retorno para UHF Antena WA-850TG

En el rango de frecuencia que trabaja la antena se observa que esta está dentro de valores aceptables donde hay buena eficiencia de la antena.

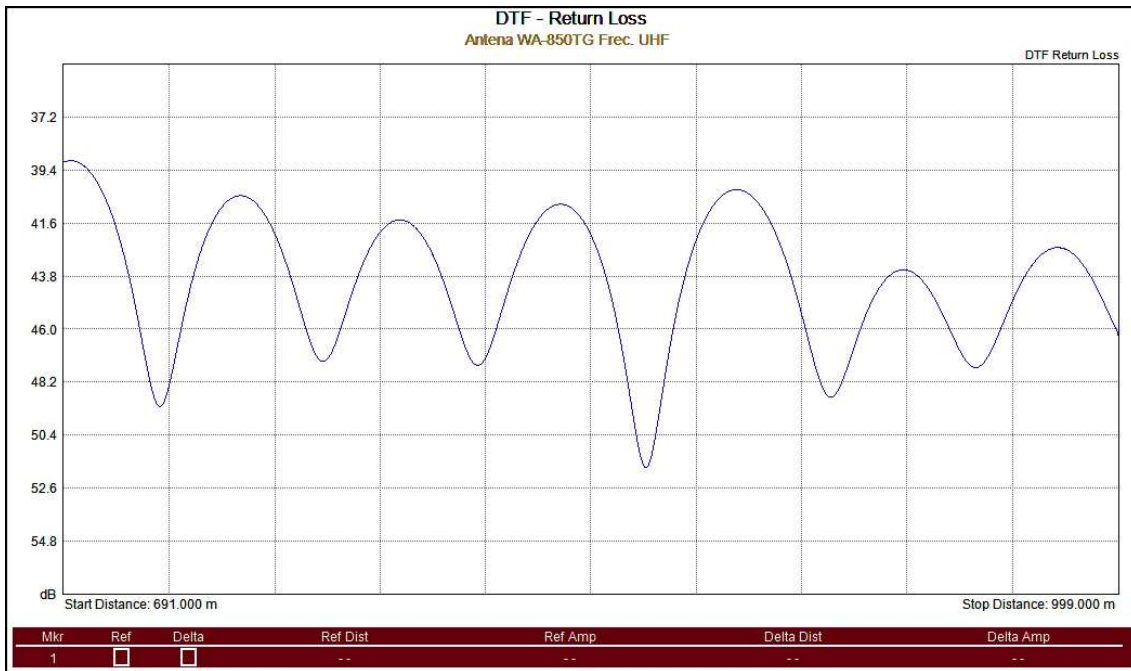


Figura 3. 45 Medición DTF-Pérdida de Retorno para UHF Antena WA-850TG

En los primero metros el sistema no presenta fallos, sin embargo unos metros después el sistema comienza a mostrar oscilaciones lo cual representa que hay algún fallo en dichas distancias.

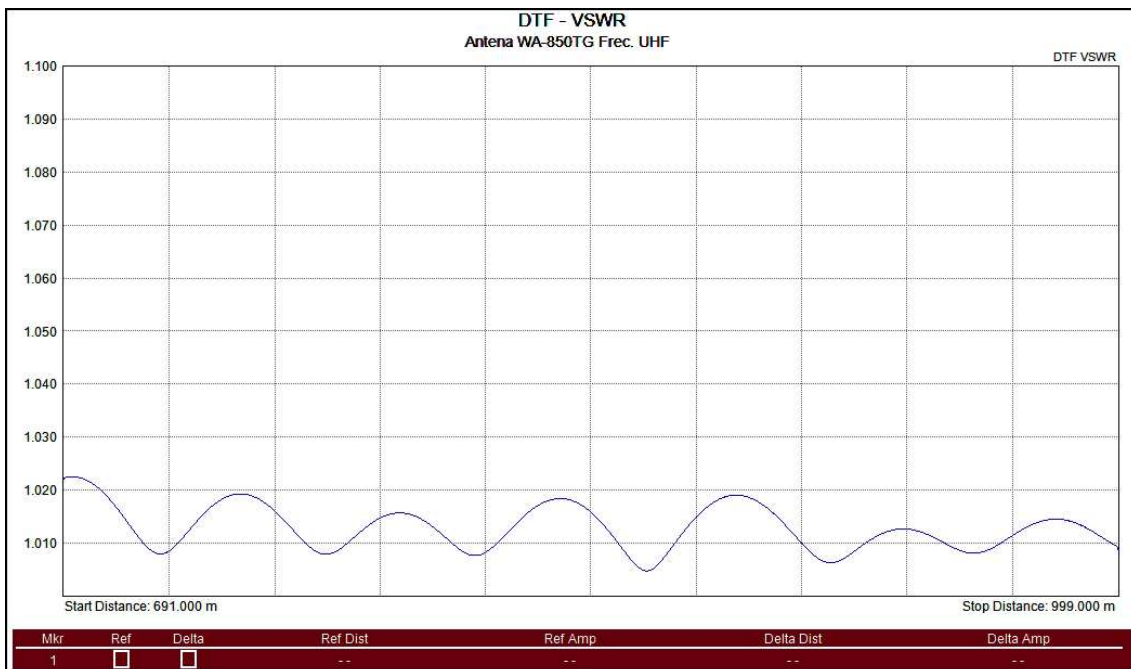


Figura 3. 46 Medición DTF-VSWR para UHF Antena WA-850TG

De la misma manera que en el modo anterior, en este se presentan las mismas oscilaciones dentro de un rango lejano de distancia lo cual representa algún fallo en dicha distancia.

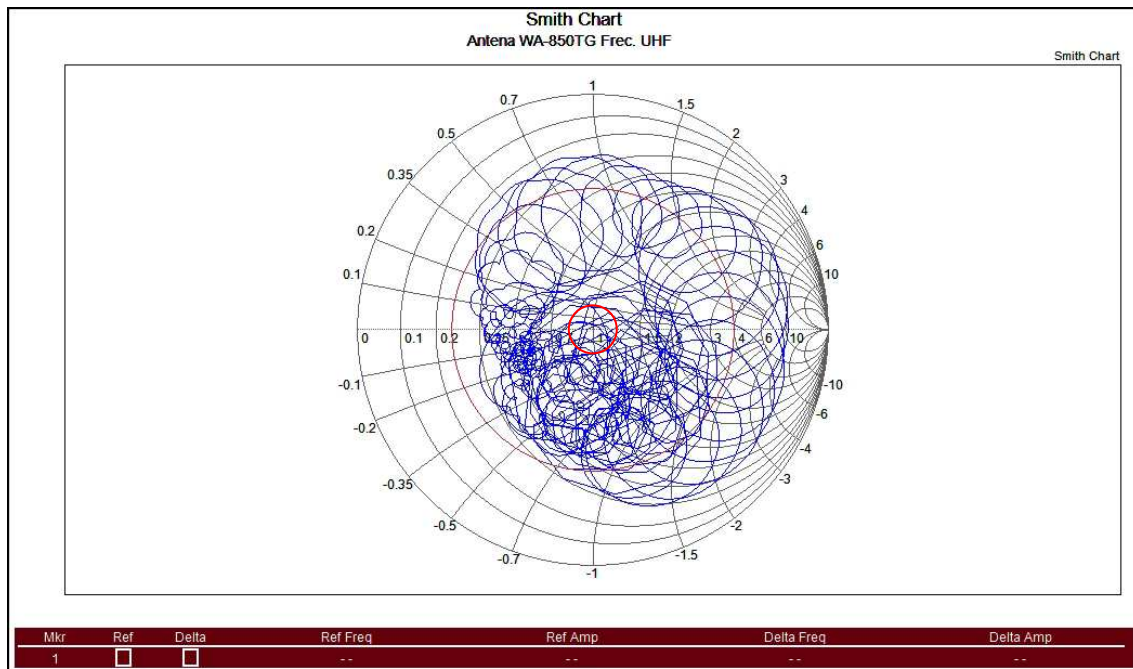


Figura 3. 47 Medición Carta de Smith para UHF Antena WA-850TG

Como se logra observar hay varios valores que cruzan por el centro de la carta o que son próximos a ella con lo cual se verifica que la antena esta en las frecuencias de trabajo que especificaba.



## CAPÍTULO 4.

### ELABORACIÓN DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE ANTENAS Y RF

#### 4.1. INTRODUCCIÓN

*“Me lo contaron y lo olvidé, lo vi y lo entendí, lo hice y lo aprendí”*

*Confucio*

Con la intención de reafirmar los conocimientos implantados en clase es importante que el alumno lleve al campo práctico los conocimientos adquiridos, de esta manera se podrá sacar sus propias conclusiones y a la vez observar los cambios que pueden darse de lo teórico a lo práctico debido a un sin número de factores que pueden variar el resultado y mostrar el comportamiento real.

Se debe aprovechar los recursos con los cuales se cuenta para saciar la sed de aprendizaje y lograr un amplio conocimiento, a la vez que se impulsará en cada uno un espíritu crítico, que sea una enseñanza más activa y participativa. Además que permitirá familiarizarse con los instrumentos que se podría usar en la vida profesional, que al menos si no son los mismos, se tendrá una idea del tipo de funcionamiento que estos tienen, los procedimientos que se deben seguir, el tipo de respuesta que estos dan.

#### 4.2. PRÁCTICA N°1.- “DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UN SET DE ANTENAS”

##### 4.2.1. Objetivo General

- Encontrar el patrón de radiación de un set de antenas

#### 4.2.2. Objetivos Específicos

- Determinar el comportamiento de un set de antenas.
- Conocer la ganancia de un set de antenas.

#### 4.2.3. Introducción

El patrón de radiación de una antena determina la distribución espacial de la energía radiada, y es usualmente la primera propiedad que es especificada en una antena luego de conocer la frecuencia de operación. Es común en la práctica realizar gráficas de secciones planas del patrón de radiación en vez de la superficie tridimensional completa. Las dos vistas más importantes del patrón de radiación, son aquellas del plano principal paralelo al vector intensidad de campo eléctrico en la dirección en que este es máximo, conocido como plano-E y la del plano principal perpendicular al plano-E conocido como plano-H. El ancho del haz en un plano principal se define como el ancho angular entre puntos que están 3 *dB* por debajo del máximo del haz.

Los tipos más comunes de patrones de radiación son: patrón de radiación omnidireccional, patrón direccional, patrón de haz tipo lápiz, patrón de haz tipo abanico, y patrón de haz de forma arbitraria.

El patrón de radiación omnidireccional se utiliza para sistemas de radiodifusión o servicios de comunicaciones donde todas las direcciones deben ser cubiertas en igual forma. El patrón en el plano horizontal es circular, mientras que en el plano vertical, tendrá un ancho angular.

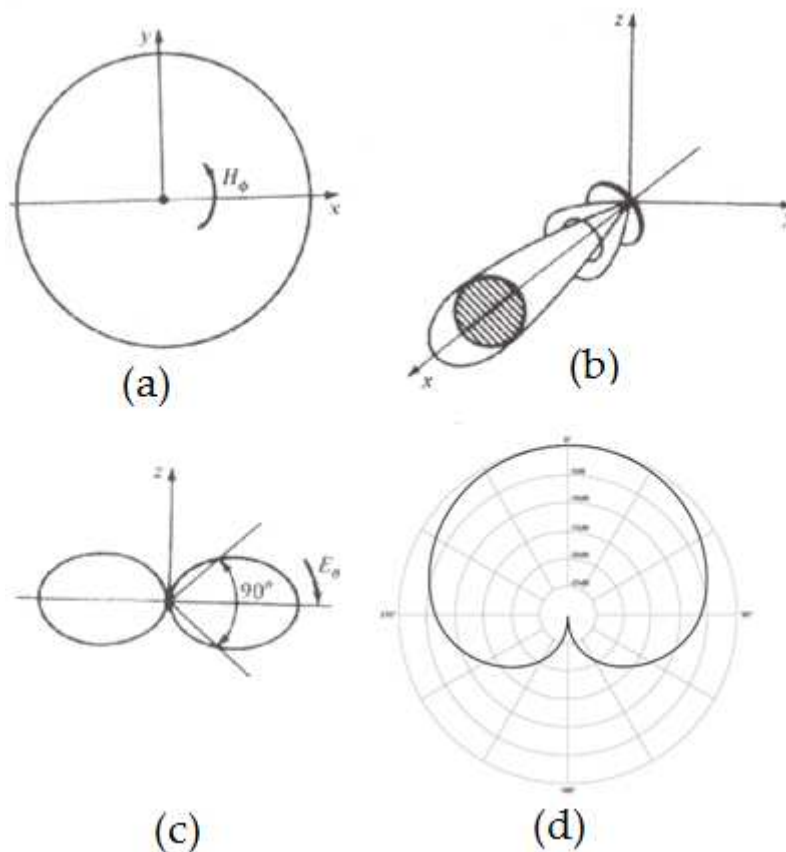


Figura 4. 1 Ejemplos de patrones de radiación (a) Omnidireccional Plano-H; (b) tipo Lápiz (volumétrico); (c) Direccional plano-E; (d) Cardioide

El patrón de haz tipo lápiz es un patrón altamente direccional y es usado cuando se desea obtener máxima ganancia y cuando la radiación debe ser concentrada en un sector angular lo más angosto posible. El ancho del haz en los dos planos principales es esencialmente igual. El patrón de haz tipo abanico es similar al tipo lápiz excepto que la sección transversal del haz es de forma elíptica en vez de circular. El ancho angular del haz en uno de los planos es mucho mayor que en el otro plano.

El patrón de haz de forma arbitraria se usa cuando en uno de los planos se desea tener un tipo de cobertura especificada. El patrón en el otro plano principal puede tener un ancho angular angosto o en forma de circunferencia para cierto tipo de aplicaciones.

El patrón de radiación de una antena, es particular para el tipo de antena y sus características eléctricas así como también para sus dimensiones físicas. La medida del mismo, se realiza a una distancia constante en las zonas apartadas de la antena. El patrón de radiación de una antena es a menudo graficado en términos de potencia relativa (normalizado). Esto es, la posición de la potencia máxima radiada es graficada a 0 *dB*s; así la potencia de todas las otras posiciones aparecerá como un valor negativo.

En cualquier tipo de patrón de radiación, podrían aparecer haces (lóbulos) de radiación no deseada, conocidos como lóbulos laterales o secundarios, los cuales están separados del lóbulo principal y cuyo nivel se especifica con referencia al lóbulo principal generalmente en *dB* bajo este. Puesto que estos no contribuyen en la dirección principal de interés, siempre es deseable mantener los lóbulos laterales en niveles razonablemente bajos.

El patrón de radiación puede ser graficado usando coordenadas rectangulares o coordenadas polares. Los gráficos en coordenadas rectangulares pueden ser leídos en forma más precisa, sin embargo, los gráficos polares, dan una representación más real, siendo así fácil la visualización.

#### 4.2.4. Materiales

- Una antena patrón cuya ganancia sea conocida.
- Un generador de señales.
- Un analizador de espectros.
- Antenas a obtener patrón de radiación.
- Un motor a pasos o un graduador para obtener los ángulos en los cuales girar la antena receptora.
- Cables con los conectores adecuados.
- Un flexómetro.

#### 4.2.5. Procedimiento

Se separa la antena transmisora de la antena receptora a una distancia conocida. Lo que primero se debe analizar para tomar los datos es la separación entre las antenas trasmisora y receptora. Para ello, las antenas deberán estar separadas una distancia mayor a la requerida para operar en el campo lejano  $F_f$  (Far field) o conocida como distancia de Fraunhofer con el fin de reducir los efectos de proximidad y multitrayectorias, la cual se obtiene de:

$$F_f = \frac{2D^2}{\lambda} \quad (4.1)$$

Donde:

$D \rightarrow$  Dimensión real física de la antena [m]

$\lambda \rightarrow$  Longitud de onda [m]

De los datos del diseño podemos obtener la dimensión total de la antena la cual es de  $0.53m$ , la frecuencia de trabajo es  $683.5MHz$ , entonces:

$$F_f = \frac{2(0.53m)^2}{\left(\frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}{683.5 \times 10^6 Hz}\right)}$$

$$F_f = \frac{2(0.2809m^2)}{0.4389m}$$

$$\boxed{F_f = 1.2799m}$$

La distancia para realizar las mediciones debe ser mayor a  $1.28m$  por lo cual estas se realizaran a una separación de  $2.3m$ .



Tabla 4. 1 Medidas de patrón de radiación antena

Ángulo	dBm
0°	-28.38
5°	-28.43
10°	-28.71
15°	-29.36
20°	-30.46
25°	-31.81
30°	-33.62
35°	-36.35
40°	-41.49
45°	-45.19
50°	-51.87
55°	-57.86
60°	-58.86
65°	-58.87
70°	-52.59
75°	-46.82
80°	-45.28
85°	-43.36
90°	-43.03
95°	-45.34
100°	-46.18
105°	-47.21
110°	-52.8

115°	-58.43
120°	-53.08
125°	-51.04
130°	-49.34
135°	-45.18
140°	-43.87
145°	-43.07
150°	-43.41
155°	-43.07
160°	-42.86
165°	-42.27
170°	-44.62
175°	-47.46
180°	-45.59
185°	-44.34
190°	-47.48
195°	-44.63
200°	-42.36
205°	-46.62
210°	-43.66
215°	-42.96
220°	-41.02
225°	-39.66
230°	-39.43
235°	-39.99

240°	-40.18
245°	-41.37
250°	-43.5
255°	-46.44
260°	-51.43
265°	-62.07
270°	-59.57
275°	-53.35
280°	-49.98
285°	-46.18
290°	-45.4
295°	-45.2
300°	-43.98
305°	-45.84
310°	-51.33
315°	-55.61
320°	-47.58
325°	-41.02
330°	-36.97
335°	-34.21
340°	-31.93
345°	-30.3
350°	-29.5
355°	-28.8
360°	-28.36

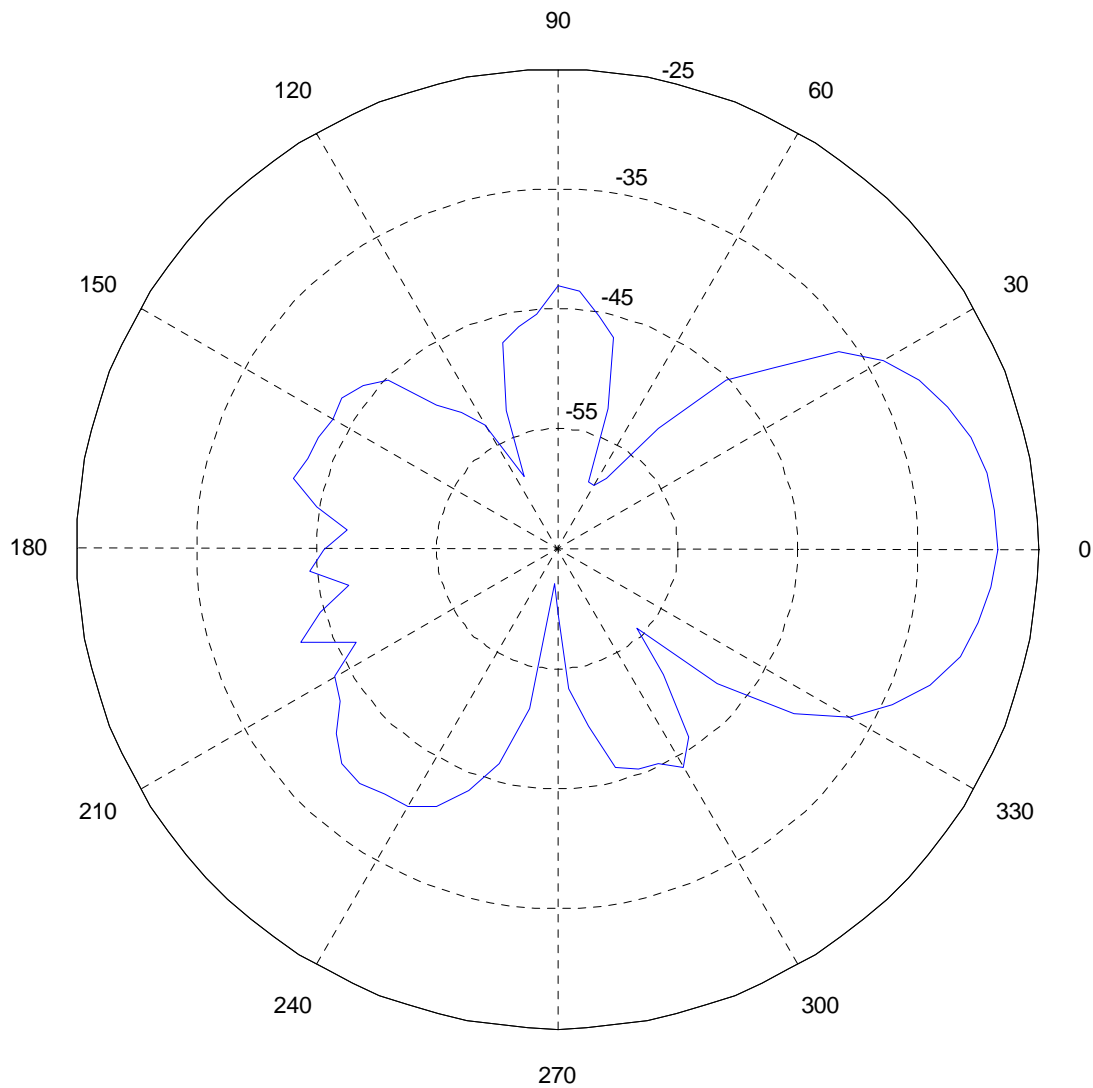


Figura 4. 3 Lóbulo de radiación antena 683.5MHz

Para el obtener el valor de ganancia de nuestra antena en prueba usamos una antena patrón la cual ya se tienen los datos de fabricante, esto se calcula mediante la ecuación de transmisión de Friis:

$$\frac{P_r}{P_t} = \frac{G_{a1}(G_{a2})\lambda^2}{(4\pi Dist)^2} \quad (4.2)$$

Donde:



$P_r \rightarrow$  Mayor potencia recibida por antena en prueba

$P_t \rightarrow$  Potencia transmitida por antena patrón

$G_{a1} \rightarrow$  Ganancia antena patrón

$G_{a2} \rightarrow$  Ganancia antena en prueba

$Dist \rightarrow$  Distancia entre las dos antenas que debe ser mayor a  $F_f$

De donde la potencia recibida se puede expresar en  $dBm$ :

$$10 \log(P_r) = 10 \log \left( P_t \frac{G_{a1} G_{a2} \lambda^2}{(4\pi Dist)^2} \right) \quad (4.3)$$

$$P_r = P_t + G_{a1} + G_{a2} + P_p [dBm] \quad (4.4)$$

Donde:

$$P_p = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi Dist} \right) [dB] \quad (4.5)$$

Siendo  $P_p$  las pérdidas de propagación.

Los datos necesarios para el cálculo de la antena en prueba son los siguientes:

$$Dist = 2.3m$$

$$\lambda = 0.4389m$$

$$P_r = -28.36 dBm$$

$$P_t = 110 dBuV$$

$$G_{a1} = 2.15 dBi$$

Los valores de  $P_t$  y  $G_{a1}$  son valores dados por el fabricante, sin embargo debemos convertir  $P_t$  en de  $dBuV$  a  $dBm$ , para ello podemos usar conversores en internet como

<http://www.giangrandi.ch/electronics/anttool/decibel.html> o mediante las siguientes fórmulas:

$$P = 10 \log \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad p_0 = 1mW \quad (4.6)$$

$$U = 20 \log \left( \frac{u}{u_0} \right) \quad u_0 = 1\mu V \quad (4.7)$$

$$p = \frac{u^2}{Z_c} \quad (4.8)$$

Donde:

$P \rightarrow$  Potencia en dBm

$U \rightarrow$  Potencia en dBuV

$Z_c \rightarrow$  Impedancia de carga, es este caso  $50\Omega$

De donde obtenemos  $P_t = 110 \text{ dBuV} = 3.0103 \text{ dBm}$

$$P_p = 20 \log \left( \frac{\lambda}{4\pi \text{Dist}} \right) [dB]$$

$$P_p = 20 \log \left( \frac{0.4389}{4\pi(2.3)} \right) [dB]$$

$$\boxed{P_p = -36.3714 [dB]}$$

Obtenidas las pérdidas de propagación procedemos a calcular la ganancia de la antena.

$$P_r = P_t + G_{a1} + G_{a2} + P_p [dBm]$$

$$G_{a2} = P_r - P_t - G_{a1} - P_p [dBm]$$

$$G_{a2} = -28.36 - 3.0103 - 2.15 + 36.3714 [dBm]$$

$$\boxed{G_{a2} = 2.8511 [dBm]}$$

### 4.3. PRÁCTICA N°2:- “DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SET DE ANTENAS”

#### 4.3.1. Objetivo General

- Determinar la frecuencia de funcionamiento de un set de antenas.

#### **4.3.2. Objetivos Específicos**

- Aprender el método para determinar a qué frecuencia funciona una antena.
- Determinar el ancho de banda de una antena.

#### **4.3.3. Introducción**

La frecuencia de funcionamiento de una antena es aquella frecuencia en la cual esta tiene una máxima potencia o a la cual se tiene un VSWR lo más cercano a 1 en el cual la antena estaría perfectamente acoplada, sin embargo por cuestiones de diseño e implementación suelen haber variaciones que afectan la respuesta de esta y van a dar valores cercanos. Al momento de querer determinar estos valores de manera práctica se tienen varios métodos, entre ellos por medio de la medición del VSWR, por medio de la carta de Smith, con un analizador de espectros. La frecuencia de corte es un valores muy importante al momento de querer implementar una antena debido que gracias a esta se logrará un paso de información y así tener un enlace sin pérdidas ni distorsiones, además el tipo de antena a usar es de gran importancia debido que se tendrá una mejor ganancia, directividad, ancho de banda, todo dependerá de las características de esta según sus elementos y patrón de radiación.

Profesionalmente es de vital importancia que al momento de implementar antenas se sepa determinar su frecuencias de funcionamiento debido al espectro radioeléctrico que se maneja en nuestro entorno, el cual tiene control además que existe aplicaciones determinadas para rangos de frecuencias, los cuales son ya establecidos y no se los puede invadir debido que afectaría la transmisión por solapamientos de la frecuencia, cruce de información entre otros posibles problemas.

#### **4.3.4. Materiales**

- Un set de antenas
- Analizador de antenas
- Cable coaxial RG-58

- Conectores dependiendo del tipo de conector del analizador o adaptadores para estos

### 4.3.5. Procedimiento

Se conecta la antena al analizador de antenas mediante los cables y conectores adecuados, procurando que la longitud de dicho cable sea  $n$ - veces  $\lambda/2$  para que se encuentre en completa resonancia la antena y no genere desfases.

Se ajusta la frecuencia inicial y la final de tal modo que en esta se observe un barrido de frecuencias que ayuden a analizar la respuesta de la antena.

Se selecciona el tipo de medida a tomar para determinar la frecuencia de respuesta de la antena.

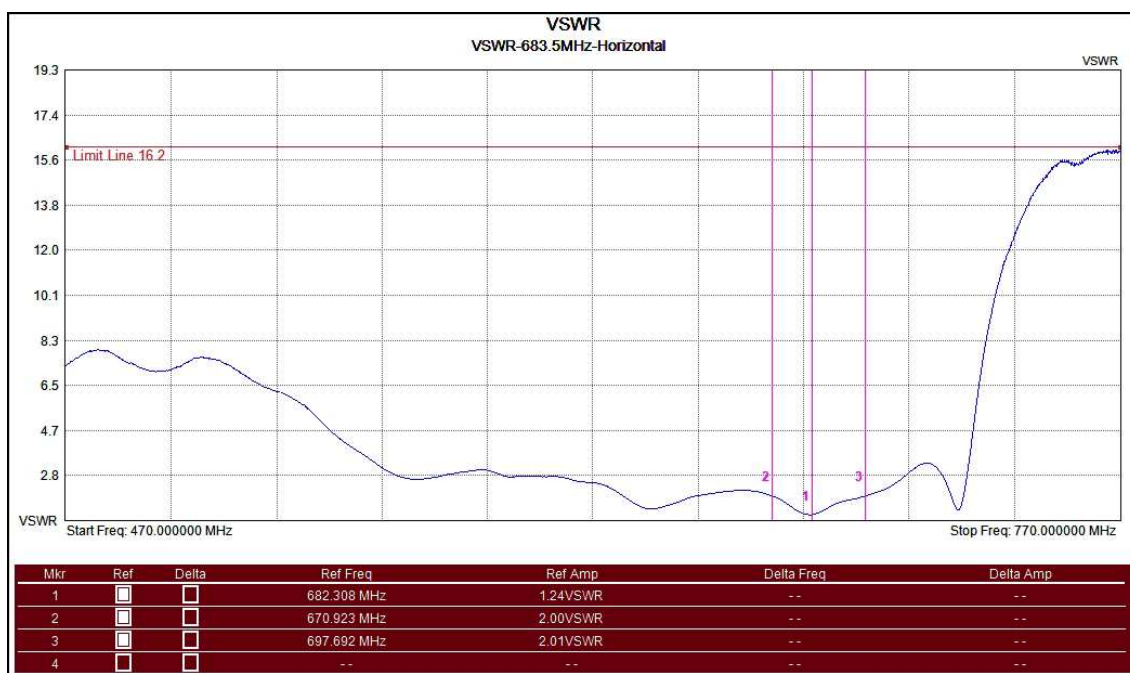


Figura 4. 4 VSWR antena 683.5MHz polarización Horizontal

Para verificar la frecuencia en la cual está trabajando la antena que se encuentra en polarización horizontal determinamos donde se encuentra el valor más bajo y este está mostrado en el marcador 1, de este modo se observa que la frecuencia de operación es de 682.308 MHz con un  $VSWR = 1.24$  siendo un valor cercano al

diseñado el cual era de  $683.5 \text{ MHz}$  y que idealmente tendría un  $VSWR = 1$ . A continuación se puede determinar el ancho de banda de la antena, es decir el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central, el cual el estándar comúnmente es  $VSWR \leq 2$  o  $|\Gamma| \leq 1/3$ , dichos valores están mostrados por los marcadores 2 y 3 correspondientes a las frecuencias  $670.923 \text{ MHz}$  y  $697.692 \text{ MHz}$  respectivamente.

$$BW = f_H - f_L \quad (4.9)$$

$$BW = 697.692 - 670.923$$

$$\boxed{BW = 26.769 \text{ MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ), el cual es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión de la antena su máximo valor es 1 y el mínimo -1, nos basamos en el valor de VSWR obtenido:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (4.10)$$

$$|\Gamma| = \frac{1.24 - 1}{1.24 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma| = 0.107}$$

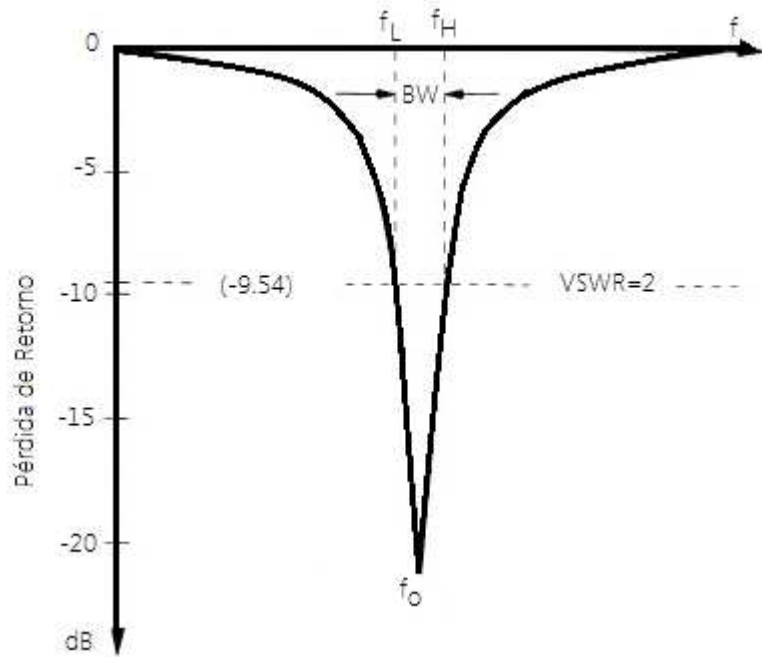


Figura 4. 5 Consideración para ancho de banda

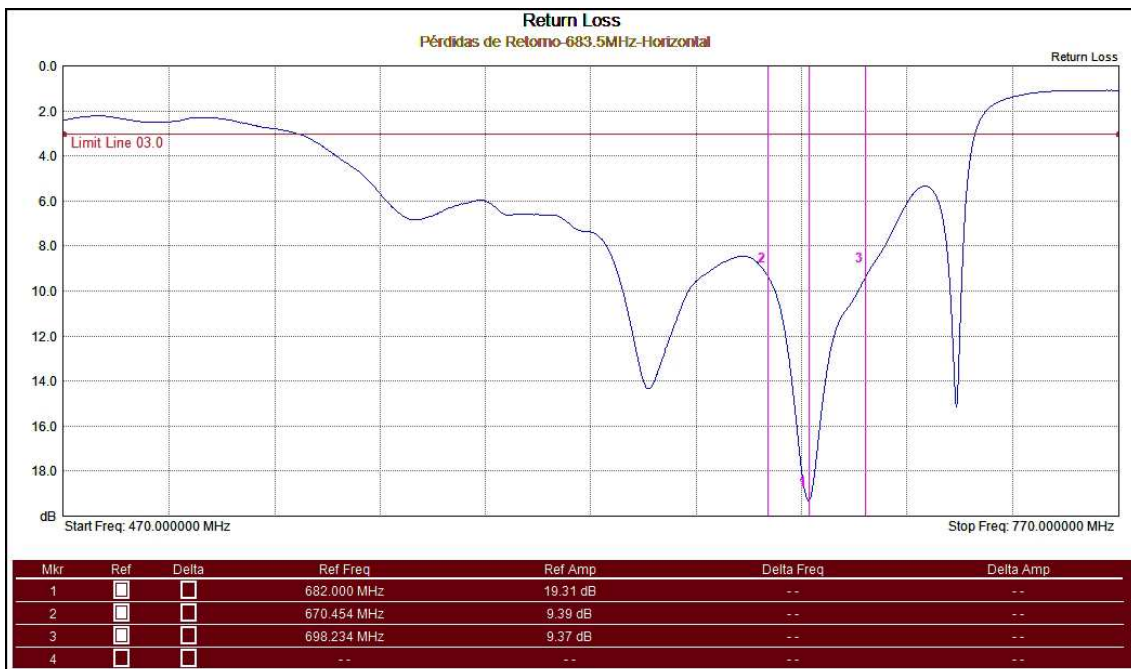


Figura 4. 6 Pérdidas de retorno antenna 683.5MHz polarización Horizontal

Es otra forma de poder definir la adaptación entre dos dispositivos cuando se conectan entre sí o que tan cerca de  $50\Omega$  esta su impedancia de entrada y/o salida.

Con esta opción se puede hacer mediciones de las características de reflexión. Por ejemplo se podría usar para detectar problemas en la línea de alimentación de una antena, o propiamente algún problema en la antena. Una parte de la potencia incidente puede ser reflejada hacia la fuente por algún fallo en la línea de transmisión o bien de la antena.

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

$$RL = 20 \log \left( \frac{V_{SWR}-1}{V_{SWR}+1} \right) \quad (4.11)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{1.24 - 1}{1.24 + 1} \right)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{0.24}{2.24} \right)$$

$$RL = 20 \log(0.107)$$

$$\boxed{RL = -19.4dB}$$

Si se observa el valor de RL de la muestra tomada se tiene que esta es de  $-19.31 \text{ dB}$  mientras que en el cálculo teórico a partir del VSWR obtenido tenemos un valor de  $-19.4 \text{ dB}$ , una pequeña diferencia entre estos valores.

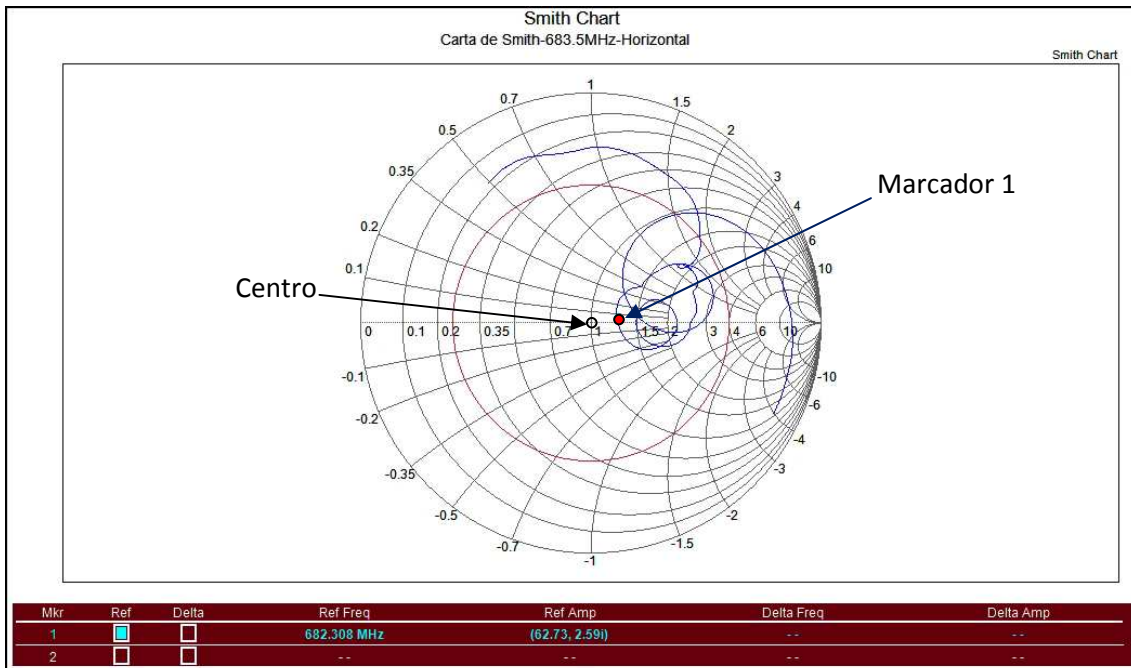


Figura 4. 7 Carta de Smith antena 683.5MHz polarización Horizontal

Se puede ver si la antena está correctamente adaptada mediante la carta de Smith, el objetivo es lograr que la frecuencia de trabajo de la antena esté lo más cercana al centro de la carta y como se logra observar con el marcador 1.

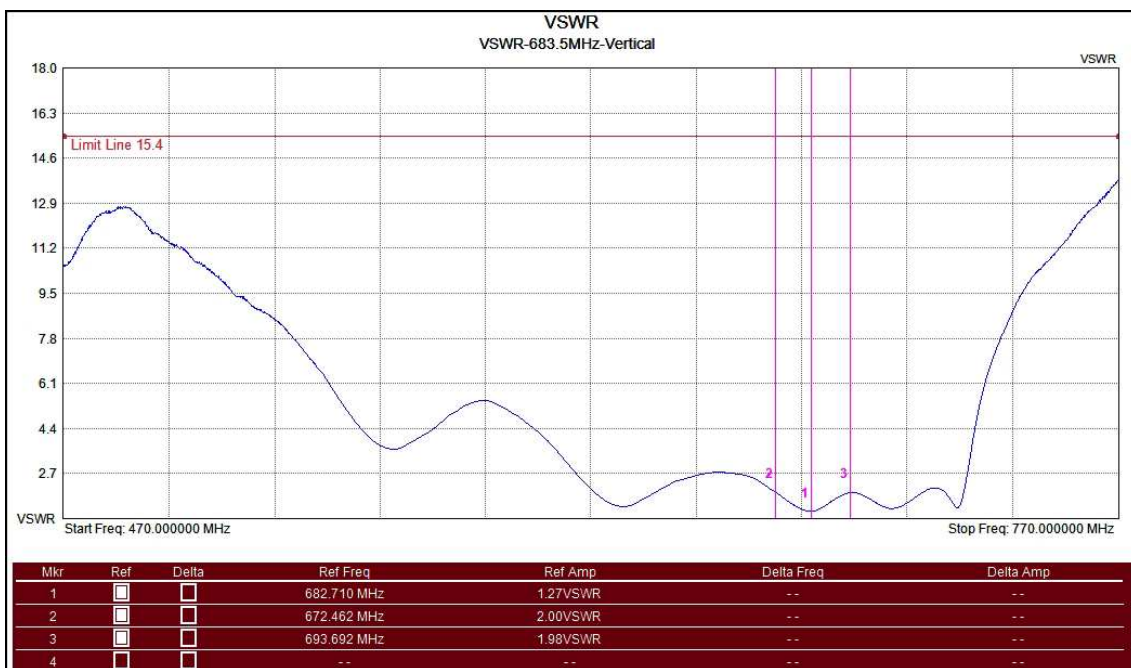


Figura 4. 8 VSWR antena 683.5MHz polarización Vertical



Nuevamente para verificar la frecuencia en la cual está trabajando la antena, esta vez en polarización vertical, determinamos donde se encuentra el valor más bajo y este está mostrado en el marcador 1, de este modo se observa que la frecuencia de operación es de  $682.710 \text{ MHz}$  con un  $VSWR = 1.27$  siendo un valor cercano al diseñado el cual era de  $683.5 \text{ MHz}$  y que idealmente tendría un  $VSWR = 1$ . A continuación se puede determinar el ancho de banda de la antena, es decir el rango de frecuencias a los cuales los parámetros de antena son similares a las que tendría si operara en la frecuencia central, el cual el estándar comúnmente es  $VSWR \leq 2$  o  $|\Gamma| \leq 1/3$ , dichos valores están mostrados por los marcadores 2 y 3 correspondientes a las frecuencias  $672.462 \text{ MHz}$  y  $693.692 \text{ MHz}$  respectivamente.

$$BW = f_H - f_L \quad (4.12)$$

$$BW = 693.692 - 672.462$$

$$\boxed{BW = 21.23 \text{ MHz}}$$

Ahora para determinar el valor de coeficiente de reflexión ( $|\Gamma|$ ), el cual es la relación entre el valor de la onda reflejada y la onda incidente en el punto de reflexión de la antena su máximo valor es 1 y el mínimo -1, nos basamos en el valor de VSWR obtenido:

$$|\Gamma| = \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \quad (4.13)$$

$$|\Gamma| = \frac{1.27 - 1}{1.27 + 1}$$

$$\boxed{|\Gamma| = 0.119}$$

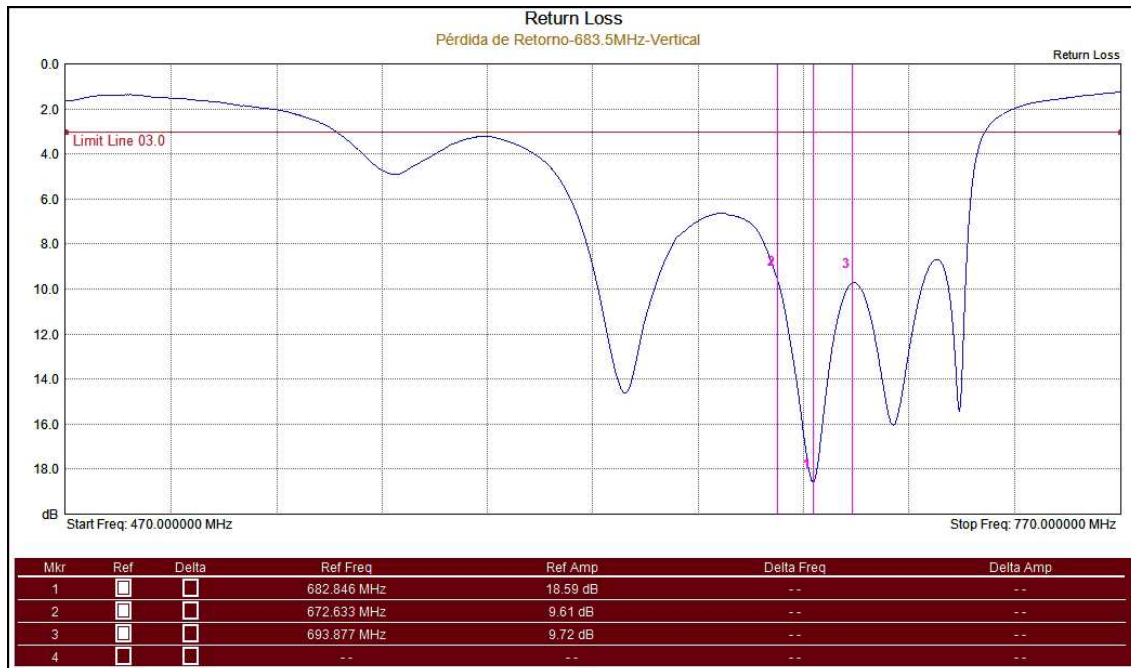


Figura 4. 9 Pérdidas de Retorno antena 683.5MHz polarización Vertical

A la razón de los voltajes reflejados con los voltajes incidentes se le conoce como coeficiente de reflexión. Este coeficiente es un número complejo por lo que tiene magnitud y fase. En términos de los parámetros de dispersión la medición de pérdida de retorno se refiere a la medición del parámetro  $S_{11}$ .

$$RL = 20 \log \left( \frac{VSWR-1}{VSWR+1} \right) \quad (4.14)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{1.27 - 1}{1.27 + 1} \right)$$

$$RL = 20 \log \left( \frac{0.27}{2.27} \right)$$

$$RL = 20 \log(0.119)$$

$$\boxed{RL = -18.49dB}$$

Si se observa el valor de RL de la muestra tomada se tiene que esta es de  $-18.59 \text{ dB}$  mientras que en el cálculo teórico a partir del VSWR obtenido tenemos un valor de  $-18.49 \text{ dB}$ , una pequeña diferencia entre estos valores.

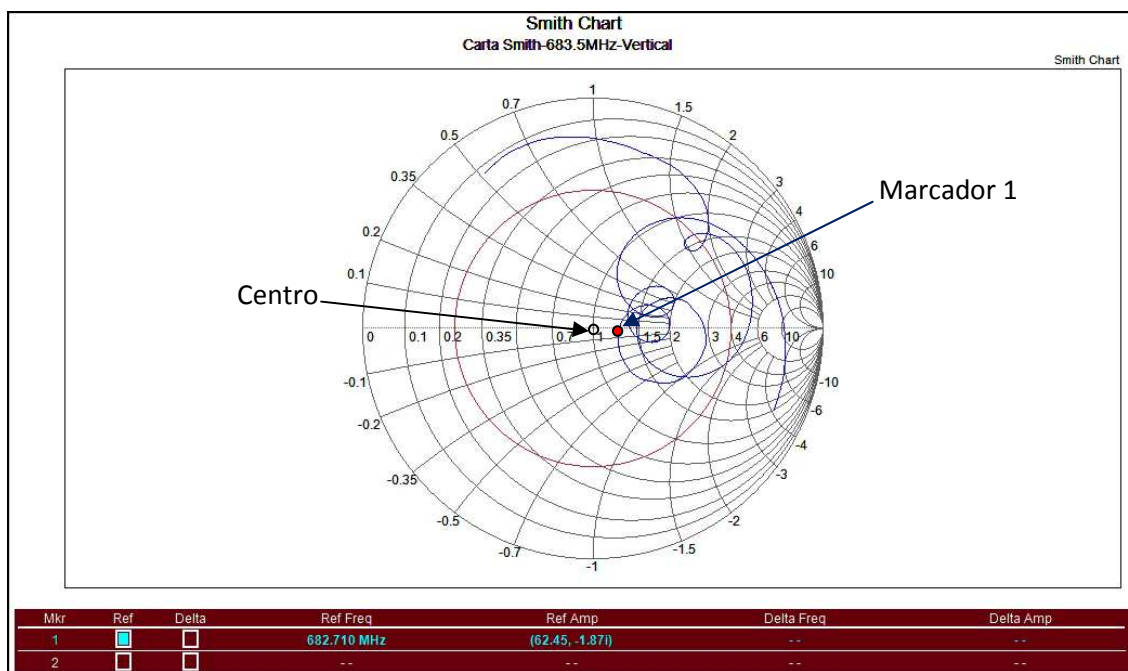


Figura 4. 10 Carta de Smith antenna 683.5MHz polarización Vertical

Se puede ver si la antena está correctamente adaptada mediante la carta de Smith, el objetivo es lograr que la frecuencia de trabajo de la antena esté lo más cercana al centro de la carta y como se logra observar con el marcador 1.

#### 4.4. PRÁCTICA N°3:- “MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE RESONANCIA DE CIRCUITOS DE RF, RLC”

##### 4.4.1. Objetivo General

Aprender y comprender la respuesta de los circuitos de RF, RLC

##### 4.4.2. Objetivos Específicos

- Encontrar la frecuencia de resonancia de un circuito de RF.
- Determinar el tipo de respuesta de un circuito RF.
- Conocer la respuesta de los instrumentos de laboratorio.

#### 4.4.3. Introducción

Un circuito resonante es aquel que se encuentra constituido por una bobina y un capacitor conectados a una fuente generadora. Este circuito es considerado uno de los más importantes debido que por ejemplo en la vida diaria este tipo de circuitos se usa para seleccionar una señal deseada de radio o televisión de las tantas que hay en el entorno.

En estos circuitos se logra la frecuencia de resonancia cuando tanto voltaje como corriente se encuentran en fase, para que esto ocurra la admitancia debe ser puramente real. Esto se logra cuando una frecuencia logra que la tensión sobre en capacitor y el inductor sea la misma o que sería lo mismo que tanto la reactancia capacitiva como la reactancia inductiva sean iguales [15].

#### 4.4.4. Materiales

- Capacitor  $0.5\text{ nF}$  y  $0.3\text{ nF}$
- Inductancia X
- Cable coaxial RG58
- Conectores tipo n hembra para la caja de armado y macho para cable y conector bnc que va al generador.
- Resistencias de  $50\Omega$
- Caja para armar circuito
- Generador de señales
- Analizador de espectros

#### 4.4.5. Procedimiento

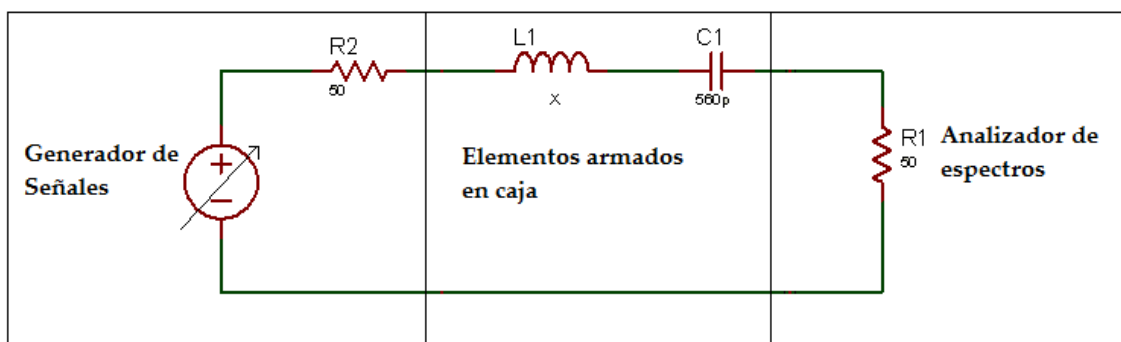


Figura 4. 11 Circuito 1 RLC

Siendo:

$R1$  Y  $R2 \rightarrow$  Resistencias

$C1 \rightarrow$  Capacitor

$L1 \rightarrow$  Inductor

Armar el circuito 1 en la caja con el cual se tomarán las medidas, percatándose que todas las tierras sean comunes y que la longitud de los cables que van de la caja hacia el generador y el analizador sea igual a  $n$  veces  $\lambda/2$  para que de esta manera no exista desfase y este adaptado correctamente.

Tomar las mediciones de nivel de salida del generador estando este ajustado en  $90\text{ dBu}$  para tenerlo como referencia para las futuras mediciones, esto se realiza conectando directamente el generador al analizador.

Tabla 4. 2 Mediciones de referencia de potencia del circuito 1

$f(\text{MHz})$	$P_o(\text{dBm})$
1	-21,6
5	-21,6
10	-21,6
20	-21,6
30	-21,6
40	-21,6
50	-22
60	-22
70	-22
80	-22
90	-22,4
100	-22,8
110	-22,8
120	-22,4
130	-22
140	-21,6
150	-22

Una vez tomadas las medidas de referencia se conecta tanto generador como analizador a la caja donde se encuentra el circuito armado y de esta manera podemos tomar las diferentes medidas para ver el comportamiento de este según la frecuencia que lo alimenta y de esta manera poder determinar el valor de una inductancia  $X$  conectada teniendo como datos conocidos la capacitancia de  $0.5 \text{ nF}$  y que las resistencias internas tanto del generador como del analizador son de  $50\Omega$ . Se puede hacer una comparación del circuito cuando la caja se encuentra cerrada o cuando se encuentra abierta.

Tabla 4. 3 Mediciones circuito 1 tapado (PoT) y sin tapa (PoST) capacitancia 0.5nF

$f$ (MHz)	PoT(dBm)	PoST(dBm)
0,2	-47,2	-46,8
0,3	-44	-43,2
0,4	-41,6	-40,4
0,5	-39,6	-38,8
0,6	-38	-37,2
0,7	-36,4	-36
0,8	-35,2	-34,4
0,9	-34	-32,8
1	-32,8	-31,6
1,1	-31,2	-30,8
1,2	-30	-29,2
1,3	-29,2	-28,4
1,4	-28	-27,6
1,5	-27,2	-26,4
1,6	-26,4	-25,6
1,7	-25,6	-24,8
1,8	-24,8	-23,6
1,9	-24,4	-23,2
2	-24	-23,2
2,1	-24	-23,2
2,2	-24,4	-24
2,3	-24,8	-24,4
2,4	-25,2	-25,2
2,5	-26	-25,6
2,6	-26,4	-26,4
2,7	-26,8	-26,8
2,8	-27,2	-27,6
2,9	-27,6	-28,4
3	-28,4	-28,8

3,1	-28,8	-29,2
3,2	-29,2	-29,6
3,3	-29,6	-30
3,4	-30	-30,8
3,5	-30,4	-31,2
3,6	-30,8	-31,2
3,7	-31,2	-31,6
3,8	-31,2	-33,2
3,9	-31,6	-33,6
4	-32	-32,4
5	-34,8	-35,2
6	-36,8	-37,2
8	-39,2	-39,6
10	-41,6	-42
15	-45,2	-46
20	-47,6	-48,8
25	-50,4	-52
30	-53,2	-54,4
35	-56,8	-60
40	-62	-68
45	-70	-66,4
50	-63,2	-59,6
60	-56,4	-54,8
70	-53,6	-52
80	-52,4	-51,2
90	-54,4	-54
100	-42,4	-43,6
110	-42	-42,8
120	-40,4	-40,4
130	-37,6	-37,6
140	-35,2	-35,2
150	-31,6	-31,6

Obtenemos las gráficas correspondientes para revisar las variaciones de las mediciones obtenidas.

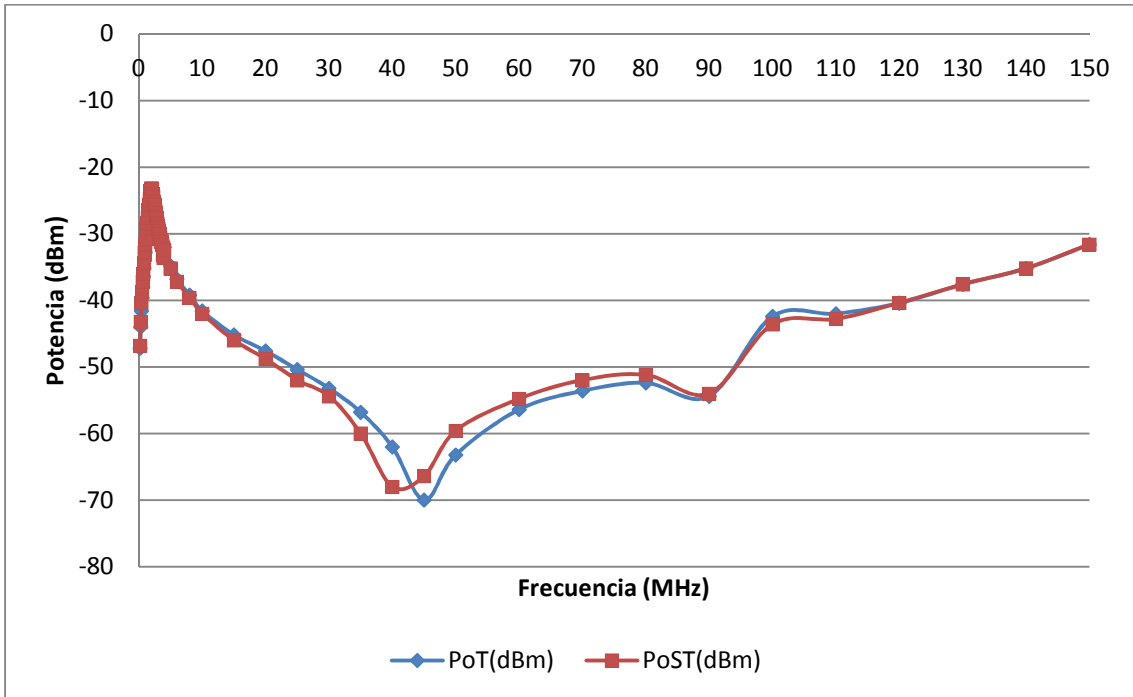


Figura 4. 12 Ilustración de resultados Frecuencia vs Potencia circuito 1 capacitancia 0.5nF

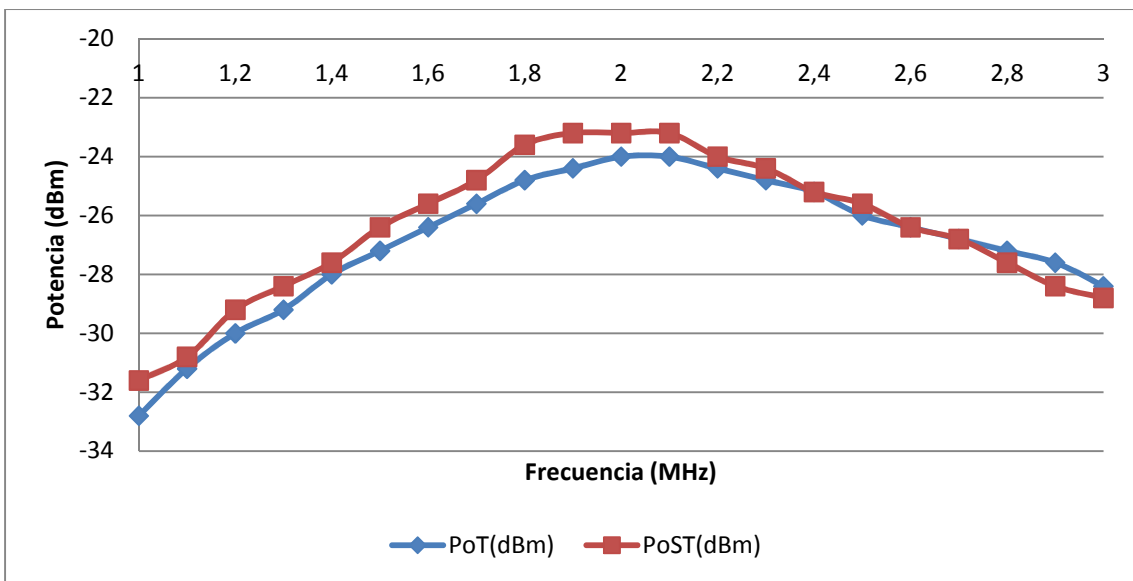


Figura 4. 13 Ilustración de medición Frecuencia vs Potencia ampliado rango de potencia máxima capacitancia 0.5nF



Se logra observar que la potencia medida en el analizador cuando la caja está tapada ( $P_{oT}$ ) no varía mucho de la potencia cuando está sin tapa ( $P_{oST}$ ), pudiendo observar que la frecuencia de resonancia se mantiene en ambos casos en los  $2MHz$  en donde tiene su potencia máxima, después de esto la potencia comienza a caer llegando a un valle diferente de cuando está la caja cubierta de cuando está descubierta, sin embargo al ir incrementándose la frecuencia la potencia va aumentando hasta llegar a un armónico de la frecuencia de resonancia del circuito. Para encontrar el ancho de banda de este se debe ser en que frecuencia el circuito cae  $3dBm$  de su potencia máxima. En el circuito sin tapa tiene un  $AB = 1.1MHz$  y con tapa de  $AB = 1.3MHz$

Una vez obtenida esta frecuencia de resonancia se puede encontrar el valor de la inductancia y de este modo verificar el valor que en esta dice con el valor obtenido prácticamente.

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 \cdot C} \quad (4.15)$$

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_o)^2 C}$$

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 2 \times 10^6)^2 0,5 \times 10^{-9}}$$

$$\boxed{L = 12,66 \mu H}$$

Ahora se procederá a tomar las mismas medidas variando la capacitancia del circuito a una de  $0.33nF$  para ver que tanto difiere la inductancia en este caso.

Tabla 4. 4 Mediciones circuito 1 con capacitancia  
0.33nF

$f(\text{MHz})$	$PoT(\text{dBm})$	$PoS(\text{dBm})$
0,2	-49,2	-50
0,3	-45,6	-46,4
0,4	-43,6	-44
0,5	-41,6	-42
0,6	-39,6	-40
0,7	-38,4	-38,8
0,8	-37,2	-37,6
0,9	-36	-36,4
1	-35,2	-35,2
1,1	-34	-34
1,2	-32,8	-32,8
1,3	-32	-32
1,4	-31,2	-31,2
1,5	-30	-30
1,6	-29,2	-29,6
1,7	-28	-28,4
1,8	-27,6	-27,6
1,9	-26,4	-26,4
2	-25,6	-25,6
2,1	-24,8	-25,2
2,2	-24,4	-24,4
2,3	-23,6	-23,6
2,4	-23,2	-23,6
2,5	-23,2	-23,2
2,6	-23,2	-23,6
2,7	-23,2	-24
2,8	-23,6	-25,2
2,9	-24,4	-25,6
3	-24,8	-26

3,1	-25,2	-26,4
3,2	-26	-26,8
3,3	-26,4	-27,6
3,4	-26,8	-28
3,5	-27,2	-28,4
3,6	-27,6	-28,8
3,7	-28	-29,2
3,8	-28,8	-29,6
3,9	-29,2	-30
4	-29,2	-30,4
5	-32,8	-33,6
6	-34,8	-36
8	-38	-38,8
10	-40	-40,8
15	-43,6	-44,8
20	-46	-47,2
25	-48,4	-50
30	-51,2	-52,4
35	-54	-56,4
40	-58	-61,2
45	-63,2	-70,8
50	-70,4	-64
60	-58,4	-56,4
70	-55,2	-53,6
80	-54,8	-53,2
90	-49,2	-51,6
100	-42	-42
110	-42	-42
120	-39,6	-39,6
130	-37,2	-37,2
140	-34,4	-34,4
150	-30,8	-30,8

Con estas medidas obtenemos las gráficas para ver qué respuesta dio el circuito armado.

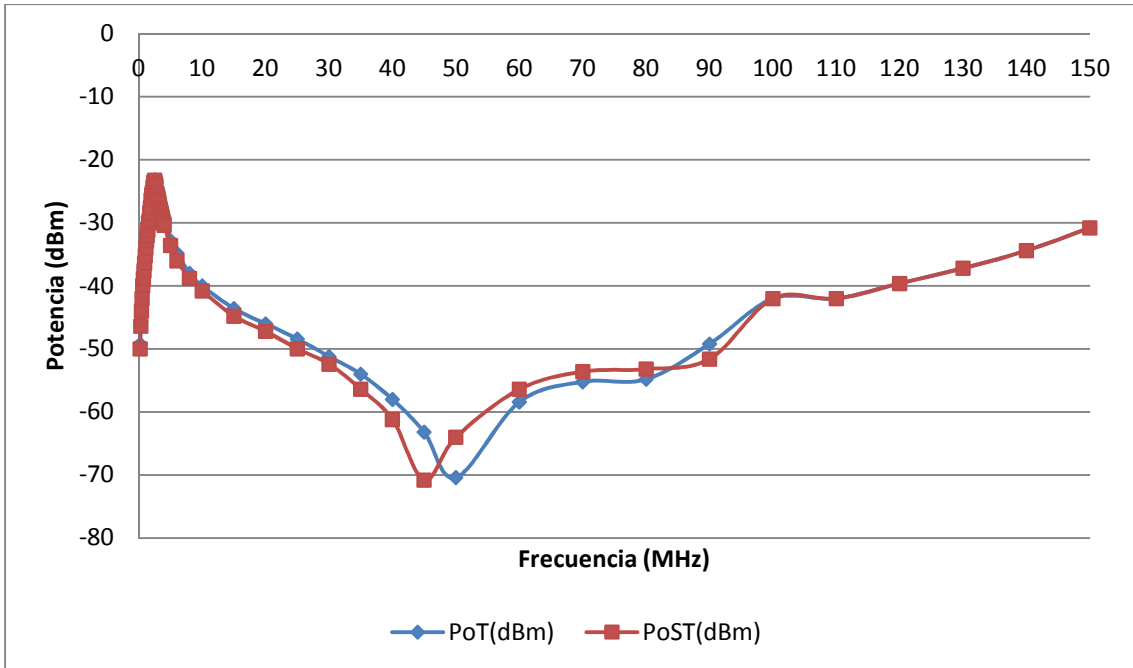


Figura 4. 14 Ilustración mediciones Frecuencia vs Potencia circuito 1 capacitancia 0.33nF

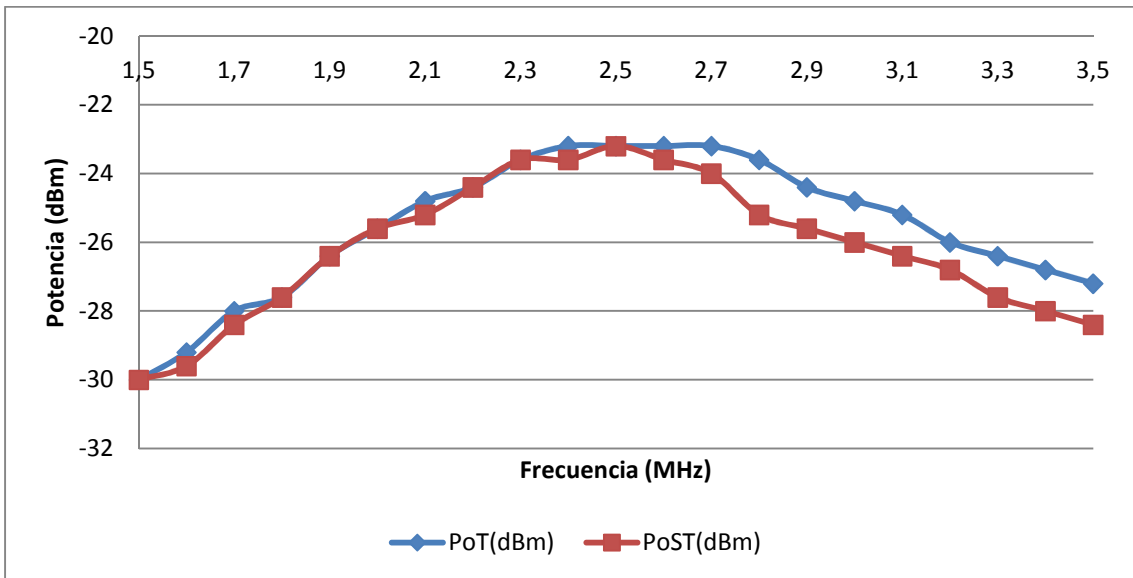


Figura 4. 15 Ilustración de medición Frecuencia vs Potencia ampliado rango de potencia máxima capacitancia 0.33nF

Se logra observar cómo mientras menor sea la capacitancia la frecuencia de corte del circuito va aumentando y con esta frecuencia se podrá encontrar la inductancia para verificar su valor y comparar su variación con el cálculo anterior y sacar conclusiones de sus variaciones. Los valores de potencia entregados cuando está el circuito con tapa y cuando está sin tapa son parecidos, desplazándose en cierto rango de frecuencias hasta llegar a un valle y comenzar a incrementar el valor de potencia.

Para encontrar el ancho de banda de este se debe ser en que frecuencia el circuito cae  $3dBm$  de su potencia máxima la cual está en  $2.5MHz$ . En el circuito sin tapa tiene un  $AB = 1.2MHz$  y con tapa de  $AB = 1.4MHz$ .

Calculada la frecuencia de resonancia se podrá calcular el valor de la inductancia.

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C} \quad (4.16)$$

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot f_0)^2 C}$$

$$L = \frac{1}{(2 \cdot \pi \cdot 2,5 \times 10^6)^2 0,33 \times 10^{-9}}$$

$$\boxed{L = 12,28 \mu H}$$

Las causas para que el valor de inductancia no sea la misma en ambos casos se debe a que los valores de la capacitancia no es un valor exacto debido que al igual que la inductancia tan solo se usa el valor teórico que esta tiene mas no el valor real.

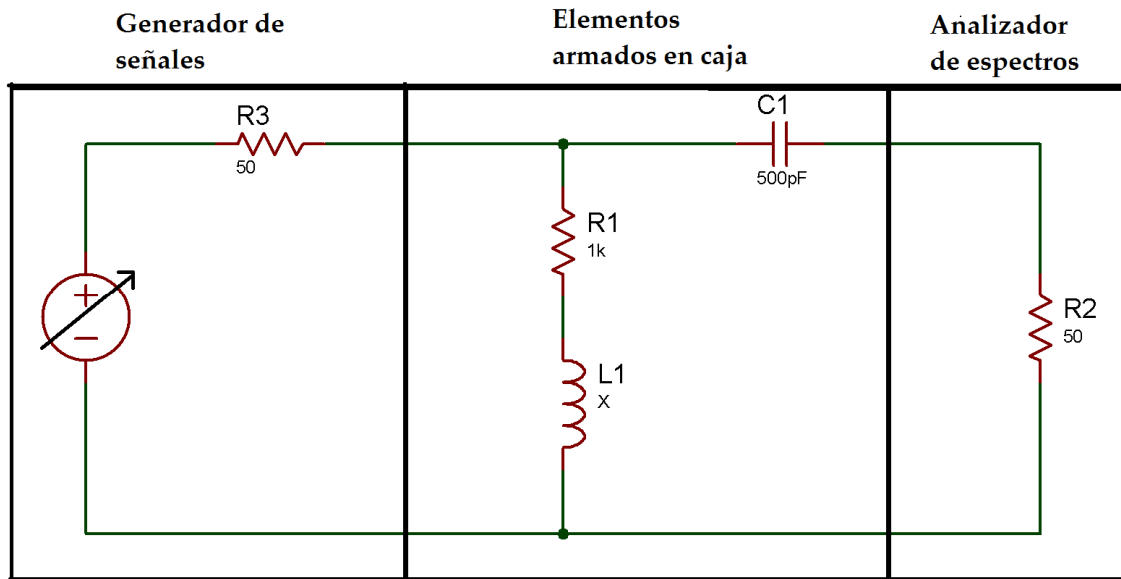


Figura 4. 16 Circuito 2 RLC

Siendo:

$R1, R2$  Y  $R3 \rightarrow$  Resistencias

$C1 \rightarrow$  Capacitor

$L1 \rightarrow$  Inductor

Se procederá a armar el segundo circuito como se muestra en el esquema y se tomarán las mismas medidas que en el circuito anterior y se observará el resultado de los valores obtenidos y que la longitud de los cables que van de la caja hacia el generador y el analizador sea igual a  $n$  veces  $\lambda/2$  para que de esta manera no exista desfase y este adaptado correctamente.

Tabla 4. 5 Mediciones circuito 2  
RLC

$f(\text{MHz})$	$PoT(\text{dBm})$
0,2	-36,8
0,3	-34,4
0,4	-32,8
0,5	-31,6
0,6	-30,4
0,7	-29,6
0,8	-29,2
0,9	-28,8
1	-28
1,1	-27,6
1,2	-27,6
1,3	-27,2
1,4	-26,8
1,5	-26,8
1,6	-26,4
1,7	-26,4
1,8	-26,4
1,9	-26,4
2	-26,4
2,1	-26
2,2	-26
2,3	-26
2,4	-26
2,5	-26
2,6	-26
2,7	-25,6
2,8	-25,6
2,9	-25,6
3	-25,6
3,1	-25,6

3,2	-25,6
3,3	-25,6
3,4	-25,6
3,5	-25,6
3,6	-25,6
3,7	-25,6
3,8	-25,6
3,9	-25,6
4	-25,6
4,1	-25,6
4,2	-25,6
4,3	-25,6
4,4	-25,6
4,5	-25,6
4,6	-25,6
4,7	-25,6
4,8	-25,2
4,9	-25,2
5	-25,2
6	-25,2
8	-25,2
10	-25,2
15	-24,8
20	-24,8
25	-24,8
26	-24,8
27	-24,8
28	-24,8
29	-24,4
30	-24,4
31	-24,4
32	-24,8
33	-24,8
34	-24,8

35	-24,8
40	-24,8
45	-24,8
50	-24,8
55	-24,8
60	-24,8
70	-24,8
80	-24,8
81	-24,8
82	-24,8
83	-24,8
84	-24,8
84,1	-24,8
84,2	-25,2
84,3	-25,2
84,4	-25,2
84,5	-25,2
84,6	-25,2
84,7	-25,2
84,8	-25,2
84,9	-25,2
85	-25,2
86	-26
87	-26
88	-26,4
89	-26,8
90	-26,8
100	-27,2
110	-26,8
120	-26,8
130	-26
140	-26,8
150	-26,4

El resultado de este circuito muestra valores casi constantes a partir de cierta frecuencia apareciendo pequeñas variaciones, se procede a graficar los resultados para obtener un resultado visual y observar la respuesta del circuito.

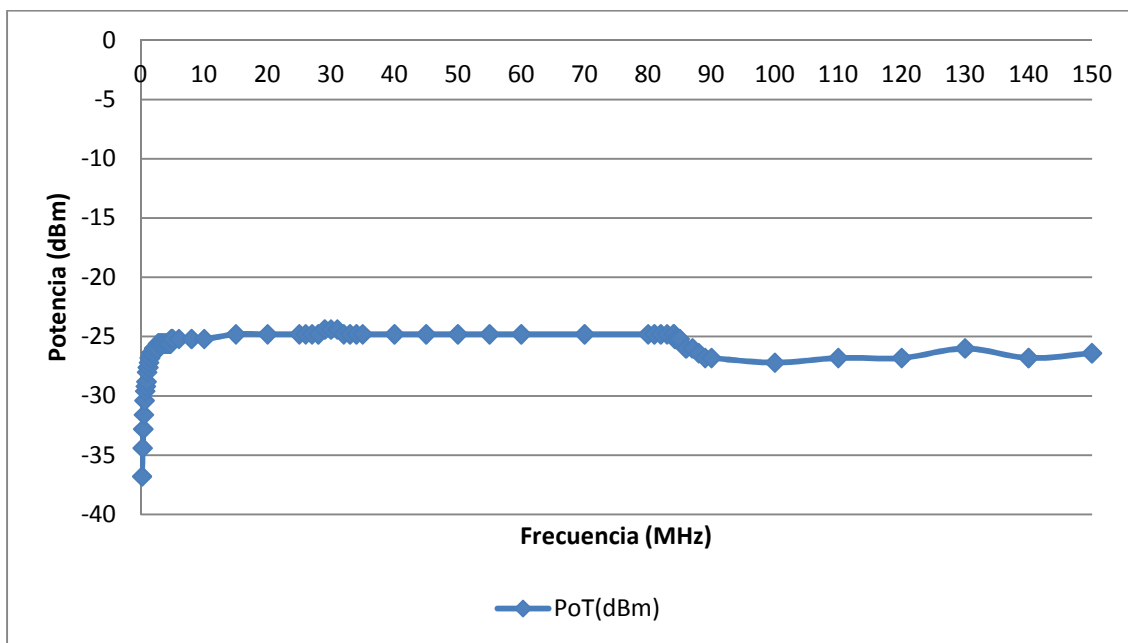


Figura 4. 17 Ilustración circuito 2 de Frecuencia vs Potencia

A diferencia del circuito anterior este no presenta grandes variaciones que al observar la gráfica de respuesta se puede concluir que su comportamiento es más de un filtro pasa-banda por estar únicamente dejando pasar cierto rango de frecuencias y hasta el punto máximo de frecuencia que entrega el generador esta se mantiene casi constante, en donde su frecuencia inicial es de  $2\text{MHz}$ .

#### 4.5. PRÁCTICA N°4.- “ANCHO DE BANDA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN”

##### 4.5.1. Objetivo General

Determinar el ancho de banda de una línea de transmisión y stub

##### 4.5.2. Objetivos específicos

- Determinar la frecuencia a la cual trabaja una línea de transmisión.
- Determinar el método de cálculo de las dimensiones de un stub en paralelo.
- Determinar a la frecuencia a la cual trabaja una línea de transmisión con stub.

#### 4.5.3. Introducción

Es común que se deba conectar una carga a una línea de impedancia característica diferente. En tal caso existirá una onda reflejada que disminuye la potencia entregada a la carga y puede tener efectos adversos en el generador, crear sobretensiones y sobrecorrientes sobre la línea capaces de causar daños, etc.

Para evitar estas situaciones problemáticas existen distintos mecanismos de adaptación entre la línea y la carga.

Si la impedancia característica de la línea de transmisión no coincide con la impedancia de carga, existe onda estacionaria.

Puede situarse la red en cualquier otro punto del circuito, por ejemplo entre el final de la línea y la carga, pero en este caso no se podría eliminar la onda reflejada a no ser que la impedancia interna del generador fuese igual a la impedancia característica de la línea.

En la práctica, la red adaptadora es una parte más del generador y es muy conveniente que la impedancia interna y la impedancia característica de la línea sean iguales.

#### 4.5.4. Materiales

- Cable coaxial RG-58
- Generador de señales
- Analizador de espectros
- Caja para armado de circuito.
- Conectores tipo n hembra para la caja de armado y macho para cable y conector bnc que va al generador.
- Resistencia  $50\Omega$ .



#### 4.5.5. Procedimiento

Se calcula la longitud de la línea de transmisión que sea equivalente a  $\lambda/2$  y que el cable que va del generador a la caja sea  $n$ -veces  $\lambda/2$  para lograr que el circuito tenga resonancia en la frecuencia deseada sin desplazamientos, además se debe considerar el factor de velocidad ( $v$ ) del cable el cual va a afectar en la medida de la línea de transmisión y así obtener valores prácticos reales.

$$\lambda = \frac{v \cdot c}{f} \quad (4.17)$$

$$\lambda = \frac{0,66.3 \times 10^8}{85 \times 10^6}$$

$$\lambda = 2,329m$$

$$\frac{\lambda}{2} = 1,1645m$$

Armado el circuito como muestra la figura tomando en consideración las longitudes de los cables explicadas anteriormente.

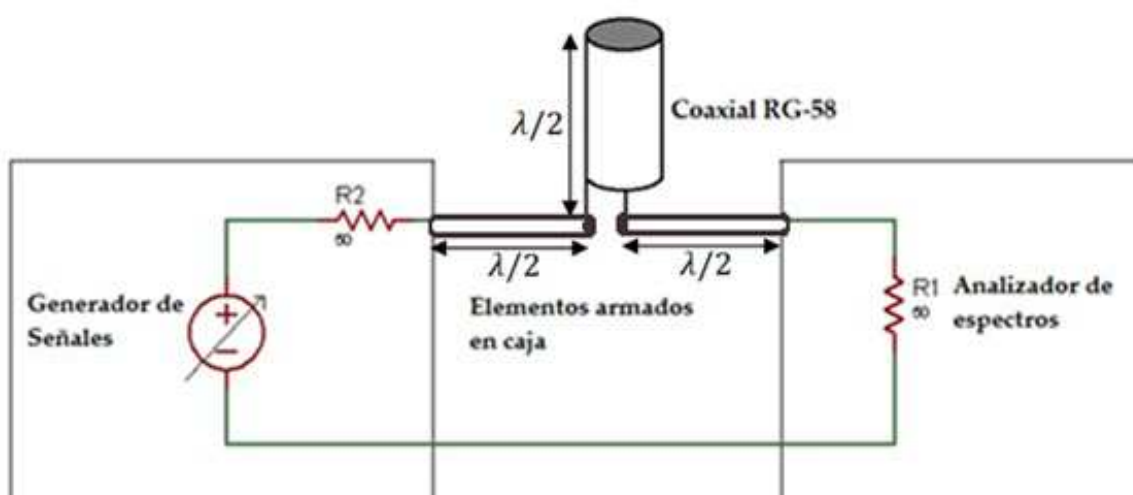


Figura 4. 18 Circuito de línea de transmisión

Siendo:

$R1$  Y  $R2 \rightarrow$  Resistencias

Ajustar el analizador de espectros su span y el generador en una potencia de referencia constante. Posteriormente tomar las medidas de la línea de transmisión extendida ( $Po1$ ) y la línea de transmisión recogida dentro de la caja ( $Po2$ ). Para estas mediciones se considerará la línea de transmisión que termina en cortocircuito.

Tabla 4. 6 Mediciones Circuito de Línea de transmisión en cortocircuito

$f$ (MHz)	$Po1$ (dBm)	$Po2$ (dBm)
1	-20,4	-20,8
2	-20,4	-20,8
3	-20,4	-20,8
4	-20,4	-20,8
5	-20,8	-21,2
6	-21,2	-21,2
8	-21,2	-21,2
10	-21,6	-21,6
15	-21,6	-21,6
20	-22,4	-21,6
25	-22,8	-22
30	-23,6	-23,2
35	-27,2	-30
40	-38,8	-49,2
45	-38	-48,8
50	-28,4	-29,3

55	-28	-23,2
60	-24,4	-22
65	-24	-21,6
70	-22,8	-21,6
75	-22,4	-21,6
80	-22	-21,2
85	-22	-21,2
90	-22	-21,2
95	-22,4	-21,6
100	-22,4	-21,6
105	-23,2	-22,4
110	-24,4	-23,2
115	-25,6	-24,4
120	-28	-27,6
125	-34,4	-36,4
130	-36,8	-39,2
135	-27,6	-34,4
140	-25,6	-39,6
145	-24,4	-28,8
150	-24,4	-22,4

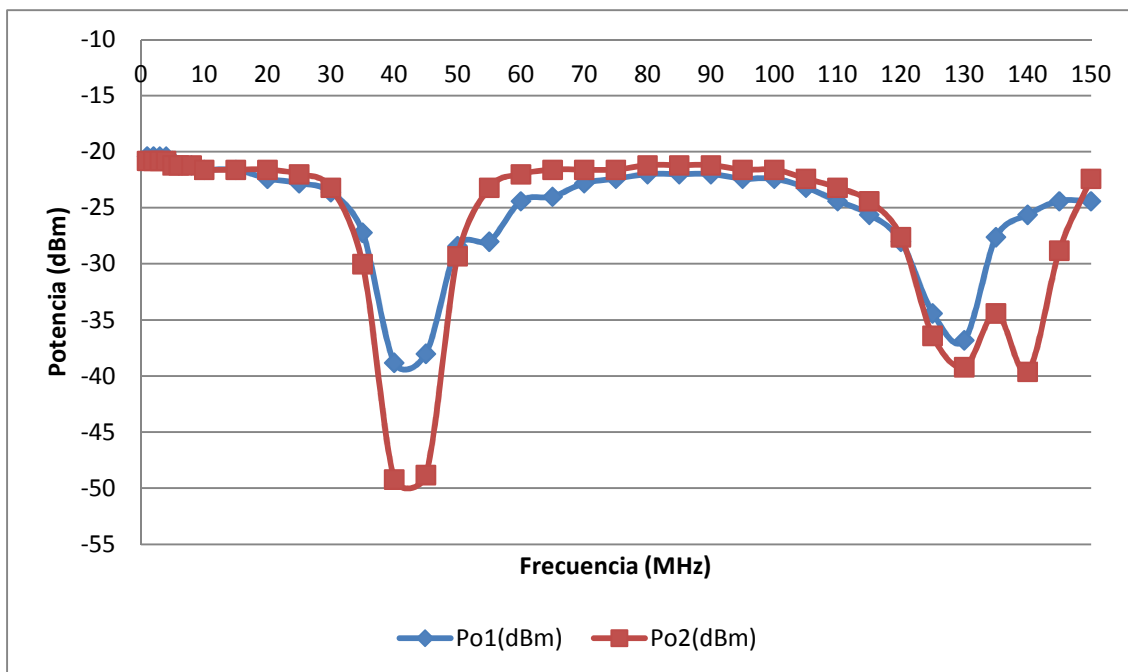


Figura 4. 19 Ilustración mediciones circuito de línea de transmisión en cortocircuito Frecuencia vs Potencia

Como se observa en el gráfico y en la tabla se ve que tiene su máxima potencia en el rango de 80MHz a 90MHz incluida la frecuencia de la cual se calculó la longitud del cable y se ve que esta tiene armónicos, por lo cual si se tuviera un generador que de mayor frecuencia se repetiría la máxima potencia en estos.

Se procede a tomar las mismas medidas pero con la línea de transmisión terminada en circuito abierto.

Tabla 4. 7 Mediciones circuito línea de transmisión  
circuito abierto

$f(\text{MHz})$	$Po1(\text{dBm})$	$Po2(\text{dBm})$
1	-44,8	-45,2
2	-39,2	-39,6
3	-36	-36,4
4	-33,6	-34
5	-31,6	-32
6	-30	-30,4
8	-28	-28
10	-26,8	-26,4
15	-23,2	-23,6
20	-22	-22,4
25	-21,2	-22,4
30	-21,6	-22,8
35	-22	-24,8
40	-24,8	-39,2
45	-22,8	-24
50	-22,4	-22,8
55	-25,2	-22,4
60	-24,4	-22,4
65	-25,6	-22,8
70	-25,6	-23,2
75	-26,8	-24,8

80	-30	-28,8
81	-31,6	-30
82	-33,2	-31,6
83	-35,2	-33,6
84	-37,2	-36,4
85	-40	-39,6
86	-44,8	-45,2
87	-49,6	-49,2
88	-44	-43,6
89	-38,8	-39,2
90	-36	-36
95	-28,8	-29,2
100	-26,4	-26,8
105	-24,4	-25,2
110	-23,2	-24
115	-22,4	-23,2
120	-22,4	-22,8
125	-22	-22,8
130	-22	-22,8
135	-22,4	-23,2
140	-22,4	-24,8
145	-22,8	-28,8
150	-23,2	-37,6

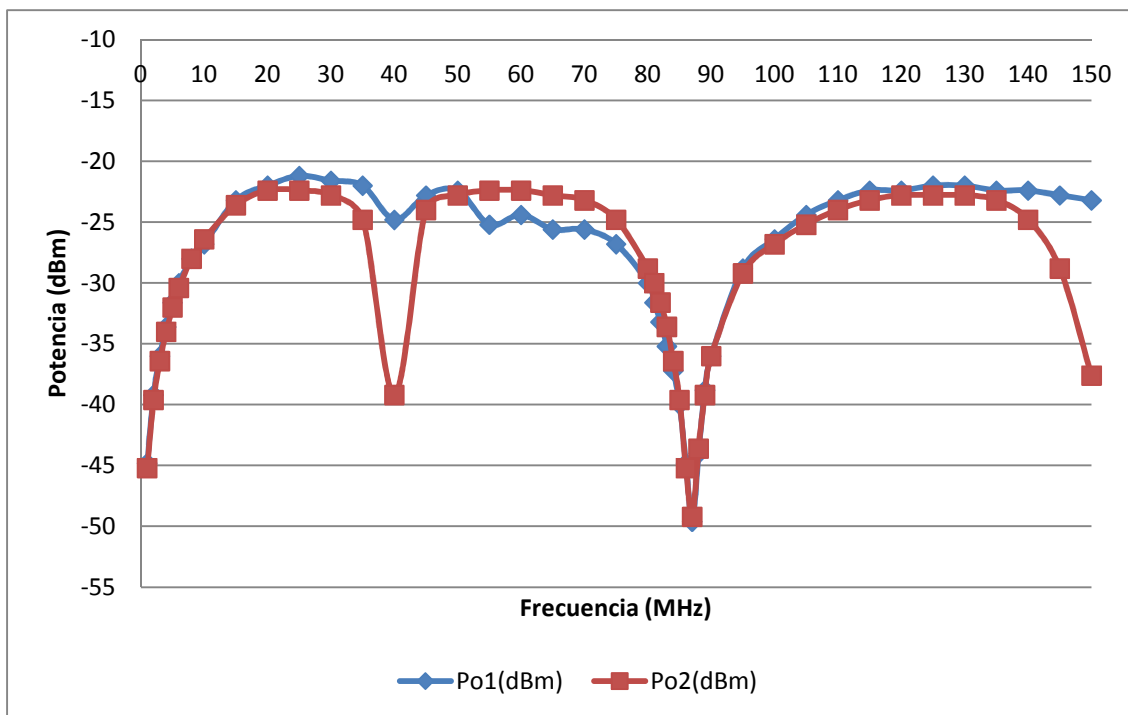


Figura 4. 20 Ilustración circuito línea de transmisión en circuito abierto

Al analizar el resultado de la línea de transmisión en circuito abierto se observa que tiene una mínima potencia a los  $87\text{MHz}$  lo cual es muy cercano a los valores calculados, el valor de este puede variar por los cortes que se usan para unir el cable a la caja del circuito y varía la longitud real.

Ahora se va a realizar las mediciones con un adaptador (stub). Esta adaptación se usará para evitar la aparición de una onda reflejada y mediante esta adaptación conjugada se calculará para que el generador entregue toda su potencia a la línea y esto será si la impedancia de entrada es igual al conjugado de la impedancia interna del generador.

En este caso se va a asumir una impedancia netamente real de  $Z_L = 100\Omega$  en base a la cual se calculará los valores de la longitud ( $L$ ) del stub y a qué distancia ( $d$ ) se lo va a poner, considerando una impedancia  $Z_0 = 50\Omega$  el cual corresponde a la resistencia interna del generador.

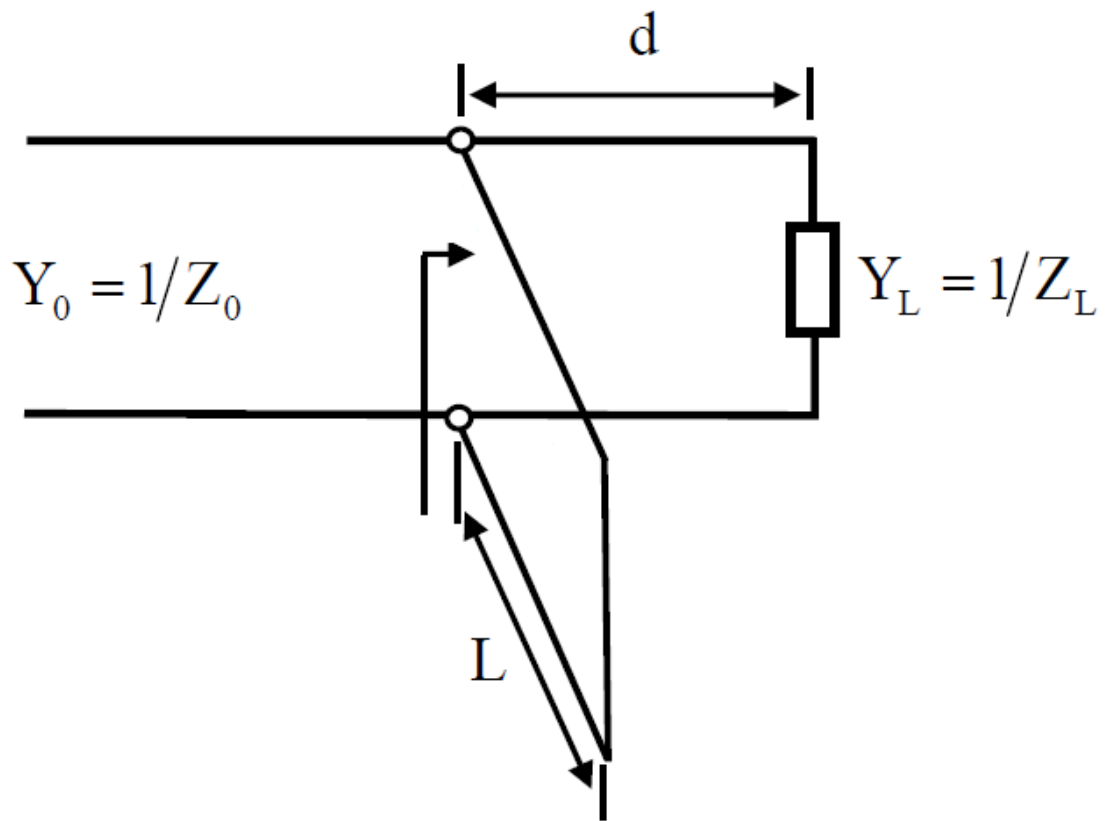


Figura 4. 21 Esquema de añadir Stub a línea de transmisión

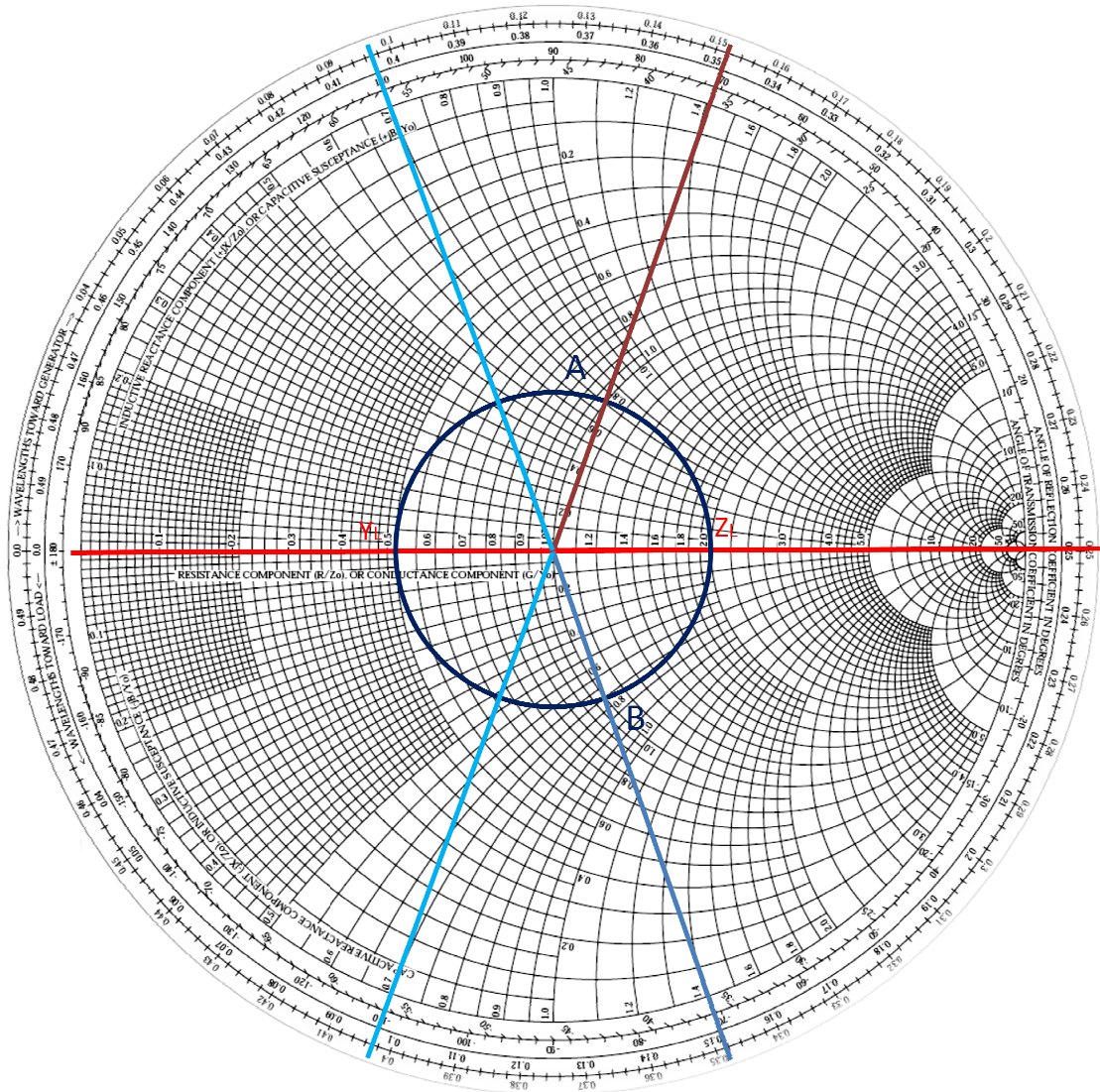


Figura 4. 22 Carta de Smith Cálculo de ubicación de stub según su frecuencia

$$\bar{Z}_L = \frac{Z_L}{Z_0} \quad (4.18)$$

$$\bar{Z}_L = \frac{100}{50}$$

$$\bar{Z}_L = 2\Omega$$

$$\bar{Y}_L = \frac{1}{\bar{Z}_L} \quad (4.19)$$

$$\bar{Y}_L = \frac{1}{2}$$

$$\bar{Y}_L = 0,5s$$

Con esto se obtendrán las distancias así como las longitudes con la ayuda de la carta de Smith.

Con el primer tramo (de distancia  $d$ ) se traslada  $\bar{Y}_L$  (hacia el generador) en la Carta de Smith hasta que su parte real coincida con la admitancia característica de la línea ( $\bar{Y}_C = 1$ , círculo de radio 1).

Con esto se obtendrán dos puntos:

$$A = 1 + j0,7 = \bar{Y}(d1) = 1 + jB \quad (4.20)$$

$$B = 1 - j0,7 = \bar{Y}(d2) = 1 - jB \quad (4.21)$$

Y con esos puntos se obtendrán los valores de distancia.

$$d1 = 0,152\lambda \quad (4.22)$$

$$d2 = 0,3485\lambda \quad (4.23)$$

El stub debe introducir una admitancia igual a  $-jB$  para eliminar la susceptancia introducida por el primer elemento de longitud  $d$ .

La longitud  $L$  se calcula a partir del valor  $-jB$  moviéndose hacia la carga del stub. Lo cual es equivalente moverse en dirección al generador desde la carga del stub a su inicio.

Para el punto A

$$\overline{Y}_{Stub} = -jB = -0,7 \quad (4.24)$$

$$L1 = 0,1515\lambda \quad (4.25)$$

Para el punto B

$$\overline{Y}_{Stub} = -jB = +0,7 \quad (4.26)$$

$$L2 = 0,3365\lambda \quad (4.27)$$

Para lo cual si se considera una frecuencia de  $120\text{MHz}$  y el factor de velocidad del cable se obtendrá

$$\lambda = 1,65\text{m}$$



---

Para medición se puede usar una de las 2 respuestas de la adaptación, en este caso se considerará la primera respuesta con lo cual

$$d1 = 0,152\lambda$$

$$d1 = 0,152 \cdot 1,65$$

$$d1 = 0,2508m$$

$$L1 = 0,1515\lambda$$

$$L1 = 0,1515 \cdot 1,65$$

$$L1 = 0,25m$$

Se arma el stub en la línea de transmisión con las dimensiones obtenidas en el cálculo y se procede a tomar las medidas [16].

Tabla 4. 8 Mediciones de línea de transmisión con Stub en cortocircuito

$f(\text{MHz})$	$P_{o1}(\text{dBm})$
1	-21,6
2	-21,6
3	-21,6
4	-21,6
5	-22
6	-22
8	-22,4
10	-22,4
15	-22,4
20	-22,8
25	-22,8
30	-23,2
35	-23,6
40	-24,4
45	-26,8
50	-28,8
55	-32,4
60	-38,8
65	-36,4
70	-32,4

75	-30
80	-27,6
85	-26
90	-25,6
95	-25,6
100	-25,6
105	-24,8
110	-24,4
115	-23,6
116	-23,6
117	-23,6
118	-23,6
119	-23,6
120	-23,2
121	-23,2
122	-23,2
123	-23,2
124	-23,2
125	-23,2
130	-23,6
135	-23,6
140	-24
145	-24,4
150	-24,8

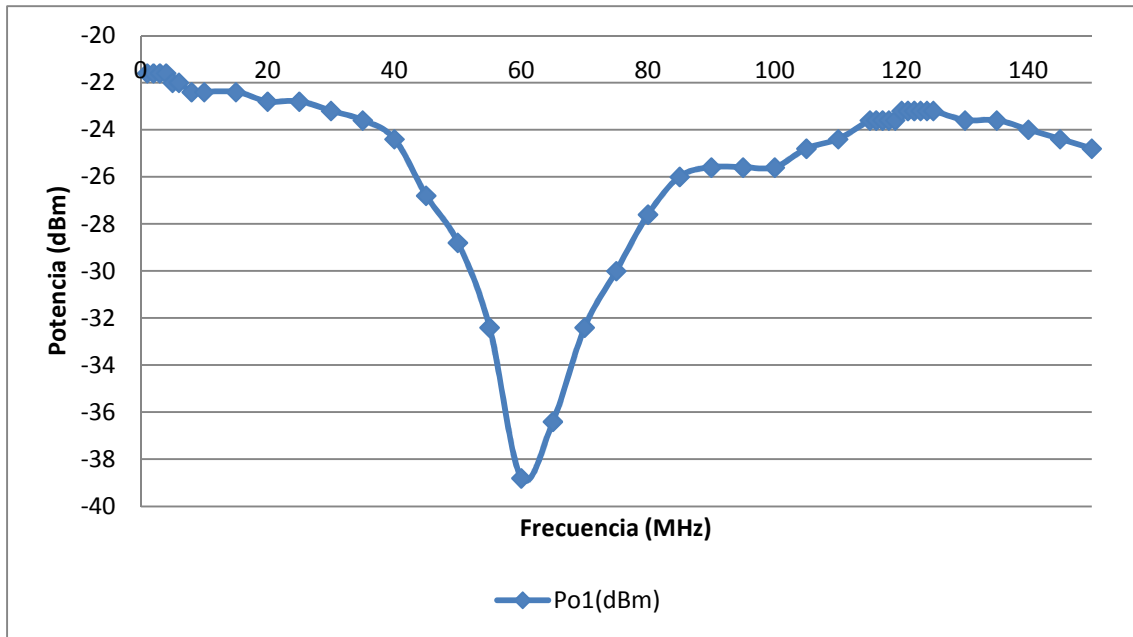


Figura 4. 23 Ilustración de mediciones de línea de transmisión con Stub Frecuencia vs Potencia

Tal como se muestra en la gráfica y en la tabla de valores se ve que el circuito acoplado con el stub en corto tiene una máxima potencia en la frecuencia para la cual se calculó las dimensiones  $d$  y  $L$ .

Se procede a abrir el stub y a obtener las medidas

Tabla 4. 9 Mediciones circuito línea de transmisión con Stub en circuito abierto

$f(\text{MHz})$	$Po1(\text{dBm})$
1	-25,2
2	-25,2
3	-25,2
4	-25,6
5	-25,6
6	-25,6
8	-25,6
10	-25,2
15	-24,8
20	-24,8
25	-24,8
30	-24,8
35	-24,8
40	-24,8
45	-26
50	-26
55	-26,4
60	-26,8
65	-26,4
70	-26,8

75	-26,8
80	-26
85	-26
90	-26,4
95	-27,2
100	-27,2
105	-26,8
110	-26,8
115	-26,8
116	-26,8
117	-27,2
118	-27,2
119	-27,6
120	-27,6
121	-27,6
122	-27,6
123	-27,6
124	-27,6
125	-27,6
130	-27,6
135	-27,6
140	-26,8
145	-26
150	-25,2

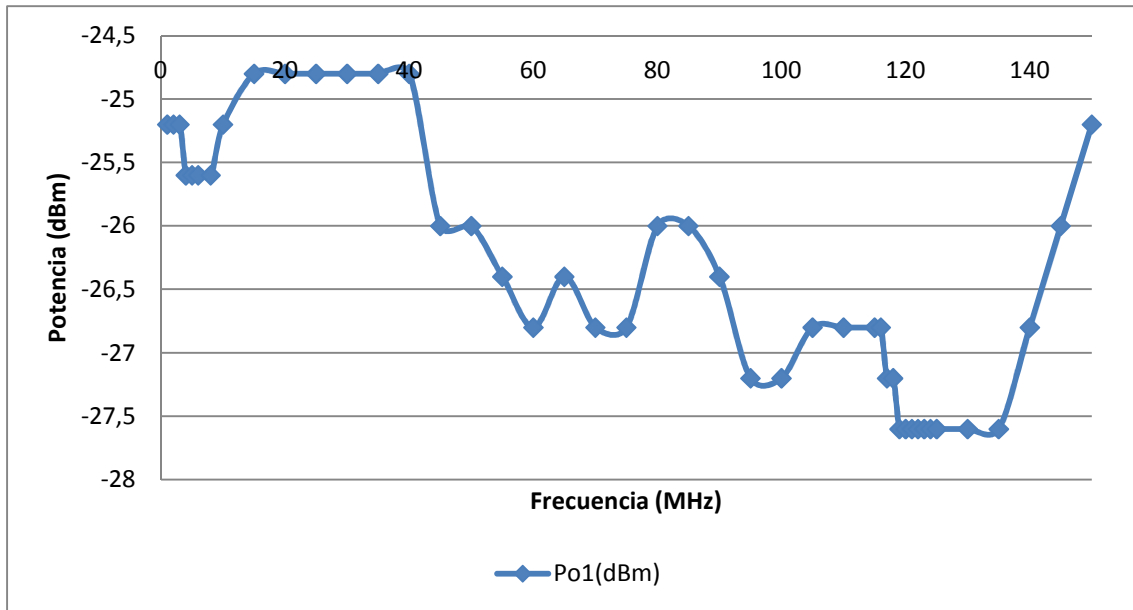


Figura 4. 24 Ilustración circuito línea de transmisión con Stub en cortocircuito Frecuencia vs Potencia

Se puede observar un comportamiento irregular del circuito con el stub abierto, sin embargo se puede apreciar que tiene una mínima potencia en la frecuencia deseada tal como el comportamiento que se espera, mostrando así que el acoplamiento según las dimensiones calculadas está trabajando adecuadamente.

## CONCLUSIONES

- En la vida estudiantil es muy importante aprender el manejo de los instrumentos de laboratorio para tener en la vida profesional los conocimientos básicos de las respuestas que estos instrumentos dan y así poder hacer un análisis de estos.
- El número de elementos de una antena es muy importante debido que mientras mayor cantidad esta tenga mejor será su ganancia lo cual permitirá tener mejores resultados dependiendo la funcionalidad de esta.
- La ventaja de un dipolo doblado en la antena es que genera una mayor impedancia así como un ligero aumento en su ancho de banda lo cual permitirá cubrir un mayor haz del espectro y además se tendrá una mayor potencia.
- Para obtener una representación más idónea del lóbulo de radiación es muy importante realizar las medidas en una distancia mayor a la de campo lejano que es en la cual se evita tener efecto de multitrayectoria, debido que si se realizan las mediciones dentro del campo cercano parte de la energía radiada por la antena regresa a esta.
- Muchos de los instrumentos de laboratorio no tienen una respuesta como la esperada en sus especificaciones técnicas y esto se refleja al momento de realizar las mediciones debido que muchos valores resultantes difieren de lo esperado en los análisis teóricos y esto es por sus elementos internos que no son precisos sus valores.
- Las antenas diseñadas muestran un lóbulo de radiación muy parecido al teórico siendo factores muy importantes en su respuesta los elementos usados, las posibles interferencias en el medio por lo cual al analizar la respuesta de cada antena nos da una frecuencia central muy cercada a la esperada y dentro del ancho de banda deseado.

- 
- Las antenas adquiridas de fábrica dan una respuesta esperada según sus especificaciones al observar los resultados en cada una de las mediciones cumpliendo sus frecuencias centrales, anchos de banda y ganancias.
  - Las prácticas de laboratorio tienen una importancia muy alta debido que se puede recapitular lo aprendido y a la vez validarlo con los resultados obtenidos pudiendo de esta manera resaltar las causas por las cuales se tienen variaciones entre lo teórico y lo obtenido.
  - Los elementos requeridos para las prácticas son fáciles de obtener, sin embargo hay que tener mucho cuidado en el armado de cada uno de los circuitos o antenas debido que un mal armado puede afectar en los resultados por una mala ubicación de estos o por un daño a los elementos.
  - La carta de Smith es un elemento que es de gran utilidad debido que con un correcto uso de esta se puede evitar el uso de fórmulas que muchas veces pueden ser tediosas o que creen gran confusión y llegar a resultados de manera más rápida tanto en antenas como en RF lo cual se reflejó en los resultados de las mediciones de las antenas o en el cálculo de stub para líneas de transmisión.
  - Un circuito resonante es de gran uso en la vida cotidiana debido que este se lo emplea para filtrar frecuencias deseadas como las de tv, radio, u otro tipo de frecuencias específicas que sean requeridas filtrándolas de las no deseadas.
  - En un circuito resonante en cortocircuito existe un valor máximo que es el valor en donde el circuito se encuentra en su frecuencia de trabajo y valores mínimos en los cuales este interpreta que está en circuito abierto, repitiéndose estos varias veces en sus armónicos.

## RECOMENDACIONES

- Realizar pruebas con los equipos a usar para ver su precisión en las respuestas para verificar sus especificaciones debido que muchas veces se emplean esas como parte de esquema a armar y de esta manera obtener los cálculos para llegar a los posibles resultados.
- Para realizar las mediciones de las antenas tomar todas las consideraciones respecto a los efectos de su uso en espacios cerrados, en espacios abiertos, distancias entre antenas para mediciones, importancia de una antena patrón con valores confiables los cuales pueden ser verificados haciendo pruebas con estas.
- Obtener mediciones de referencias para el momento de realizar las medidas se tengan estimados de los máximos valores a obtener y de esta manera también poder analizar los motivos por los cuales existen pérdidas o por cual motivo responden los circuitos de cierta manera.



**ANEXO I**

**HOJA TÉCNICA ANRITSU S362E**

**ANEXO II**  
**PRÁCTICAS DE LABORATORIO**

## PRÁCTICA N°1

### DETERMINACIÓN DEL PATRÓN DE RADIACIÓN DE UN SET DE ANTENAS

#### Objetivo General

- Encontrar el patrón de radiación de un set de antenas

#### Objetivos Específicos

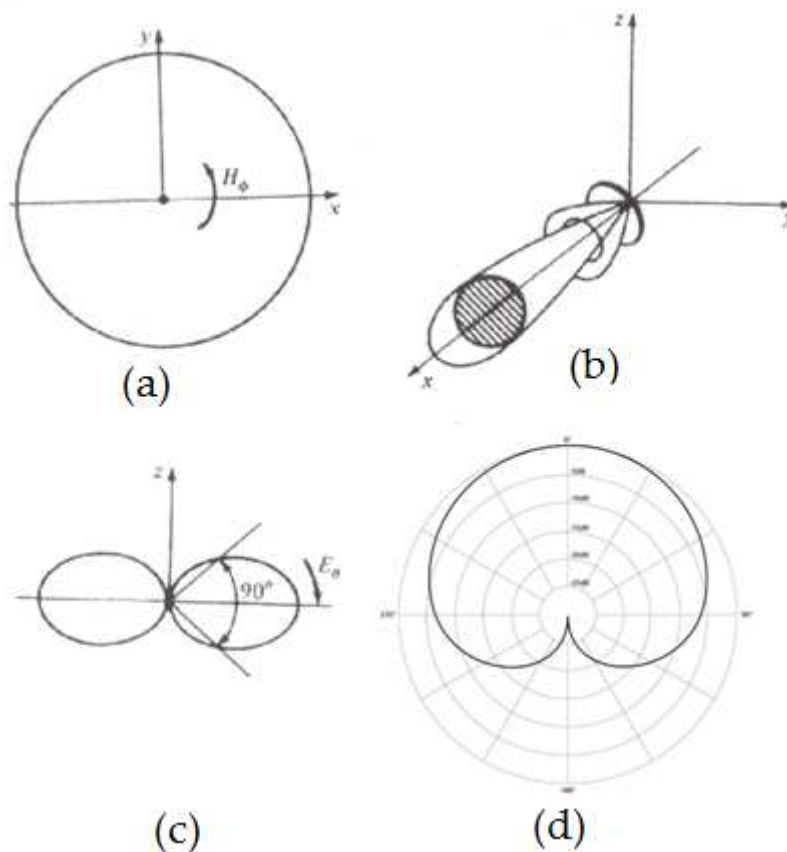
- Determinar el comportamiento de un set de antenas.
- Conocer la ganancia de un set de antenas.

#### Introducción

El patrón de radiación de una antena determina la distribución espacial de la energía radiada, y es usualmente la primera propiedad que es especificada en una antena luego de conocer la frecuencia de operación. Es común en la práctica realizar gráficas de secciones planas del patrón de radiación en vez de la superficie tridimensional completa. Las dos vistas más importantes del patrón de radiación, son aquellas del plano principal paralelo al vector intensidad de campo eléctrico en la dirección en que este es máximo, conocido como plano-E y la del plano principal perpendicular al plano-E conocido como plano-H. El ancho del haz en un plano principal se define como el ancho angular entre puntos que están 3 dB por debajo del máximo del haz.

Los tipos más comunes de patrones de radiación son: patrón de radiación omnidireccional, patrón direccional, patrón de haz tipo lápiz, patrón de haz tipo abanico, y patrón de haz de forma arbitraria.

El patrón de radiación omnidireccional se utiliza para sistemas de radiodifusión o servicios de comunicaciones donde todas las direcciones deben ser cubiertas en igual forma. El patrón en el plano horizontal es circular, mientras que en el plano vertical, tendrá un ancho angular.



Ejemplos de patrones de radiación (a) Omnidireccional Plano-H; (b) tipo Lápiz (volumétrico); (c) Direccional plano-E; (d) Cardioide

El patrón de haz tipo lápiz es un patrón altamente direccional y es usado cuando se desea obtener máxima ganancia y cuando la radiación debe ser concentrada en un sector angular lo más angosto posible. El ancho del haz en los dos planos principales es esencialmente igual. El patrón de haz tipo abanico es similar al tipo lápiz excepto que la sección transversal del haz es de forma elíptica en vez de circular. El ancho angular del haz en uno de los planos es mucho mayor que en el otro plano.

El patrón de haz de forma arbitraria se usa cuando en uno de los planos se desea tener un tipo de cobertura especificada. El patrón en el otro plano principal puede tener un ancho angular angosto o en forma de circunferencia para cierto tipo de aplicaciones.

El patrón de radiación de una antena, es particular para el tipo de antena y sus características eléctricas así como también para sus dimensiones físicas. La medida del mismo, se realiza a una distancia constante en las zonas apartadas de la antena. El patrón de radiación de una antena es a menudo graficado en términos de potencia relativa (normalizado). Esto es, la posición de la potencia máxima

radiada es graficada a  $0\text{ dB}$ s; así la potencia de todas las otras posiciones aparecerá como un valor negativo.

En cualquier tipo de patrón de radiación, podrían aparecer haces (lóbulos) de radiación no deseada, conocidos como lóbulos laterales o secundarios, los cuales están separados del lóbulo principal y cuyo nivel se especifica con referencia al lóbulo principal generalmente en dB bajo este. Puesto que estos no contribuyen en la dirección principal de interés, siempre es deseable mantener los lóbulos laterales en niveles razonablemente bajos.

El patrón de radiación puede ser graficado usando coordenadas rectangulares o coordenadas polares. Los gráficos en coordenadas rectangulares pueden ser leídos en forma más precisa, sin embargo, los gráficos polares, dan una representación más real, siendo así fácil la visualización.

### **Materiales**

- Una antena patrón cuya ganancia sea conocida.
- Un generador de señales.
- Un analizador de espectros.
- Antenas a obtener patrón de radiación.
- Un motor a pasos o un graduador para obtener los ángulos en los cuales girar la antena receptora.
- Cables con los conectores adecuados.
- Un flexómetro.

### **Procedimiento**

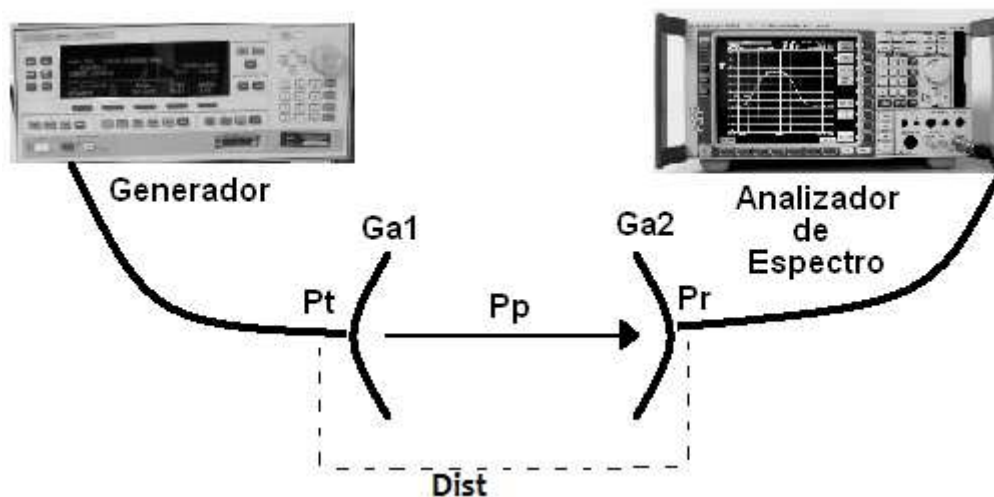
Se separa la antena transmisora de la antena receptora a una distancia conocida. Lo que primero se debe analizar para tomar los datos es la separación entre las antenas trasmisora y receptora. Para ello, las antenas deberán estar separadas una distancia mayor a la requerida para operar en el campo lejano  $F_f$  (Far field) o conocida como distancia de Fraunhofer con el fin de reducir los efectos de proximidad y multitrayectorias, la cual se obtiene de:

$$F_f = \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde:

$D \rightarrow$  Dimensión real física de la antena [m]

$\lambda \rightarrow$  Longitud de onda [m]



Circuito a implementar

Se arma el circuito especificado a una distancia *Dist* calculada y se procede a tomar medidas en intervalos de 5º para obtener una gráfica del lóbulo de radiación más fina, donde *Ga1* será la antena patrón y *Ga2* la de prueba.

Ángulo	dBm
0º	
5º	
10º	
15º	
20º	
25º	
30º	
35º	
40º	
45º	
50º	
55º	
60º	
65º	
70º	
75º	
80º	
85º	
90º	
95º	
100º	
105º	
110º	
115º	

120º	
125º	
130º	
135º	
140º	
145º	
150º	
155º	
160º	
165º	
170º	
175º	
180º	
185º	
190º	
195º	
200º	
205º	
210º	
215º	
220º	
225º	
230º	
235º	
240º	

245º	
250º	
255º	
260º	
265º	
270º	
275º	
280º	
285º	
290º	
295º	
300º	
305º	
310º	
315º	
320º	
325º	
330º	
335º	
340º	
345º	
350º	
355º	
360º	

Grafique el lóbulo de radiación acorde a los resultados obtenidos.

Para el obtener el valor de ganancia de la antena en prueba usamos una antena patrón la cual ya se tienen los datos de fabricante, esto se calcula mediante la ecuación de transmisión de Friis, la cual se deberá pasar a *dB* para su análisis:

$$\frac{Pr}{Pt} = \frac{Ga1(Ga2)\lambda^2}{(4\pi Dist)^2}$$

Donde:

$Pr$  → Mayor potencia recibida por antena en prueba

$Pt$  → Potencia transmitida por antena patrón

$Ga1$  → Ganancia antena patrón

$Ga2$  → Ganancia antena en prueba

$Dist$  → Distancia entre las dos antenas que debe ser mayor a  $F_f$

### **Análisis de resultados**

- a) En qué influye el lugar dónde se realizan las mediciones?
- b) Por qué motivo las medidas se realizan a una distancia mayor a la distancia de campo lejano?
- c) Qué otro aspecto influye en los resultados analizando desde el punto de vista técnico y analítico?
- d)Cuál es el punto de referencia de nuestras potencias obtenidas para sacar la ganancia y por qué motivo?

## PRÁCTICA N°2

### DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA DE FUNCIONAMIENTO DE UN SET DE ANTENAS

#### Objetivo General

- Determinar la frecuencia de funcionamiento de un set de antenas.

#### Objetivos Específicos

- Aprender el método para determinar a qué frecuencia funciona una antena.
- Determinar el ancho de banda de una antena.

#### Introducción

La frecuencia de funcionamiento de una antena es aquella frecuencia en la cual esta tiene una máxima potencia o a la cual se tiene un VSWR lo más cercano a 1 en el cual la antena estaría perfectamente acoplada, sin embargo por cuestiones de diseño e implementación suelen haber variaciones que afectan la respuesta de esta y van a dar valores cercanos. Al momento de querer determinar estos valores de manera práctica se tienen varios métodos, entre ellos por medio de la medición del VSWR, por medio de la carta de Smith, con un analizador de espectros. La frecuencia de corte es un valores muy importante al momento de querer implementar una antena debido que gracias a esta se logrará un paso de información y así tener un enlace sin pérdidas ni distorsiones, además el tipo de antena a usar es de gran importancia debido que se tendrá una mejor ganancia, directividad, ancho de banda, todo dependerá de las características de esta según sus elementos y patrón de radiación.

Profesionalmente es de vital importancia que al momento de implementar antenas se sepa determinar su frecuencias de funcionamiento debido al espectro radioeléctrico que se maneja en nuestro entorno, el cual tiene control además que existe aplicaciones determinadas para rangos de frecuencias, los cuales son ya establecidos y no se los puede invadir debido que afectaría la transmisión por solapamientos de la frecuencia, cruce de información entre otros posibles problemas.

#### Materiales

- Un set de antenas
- Analizador de antenas
- Cable coaxial RG-58
- Conectores dependiendo del tipo de conector del analizador o adaptadores para estos

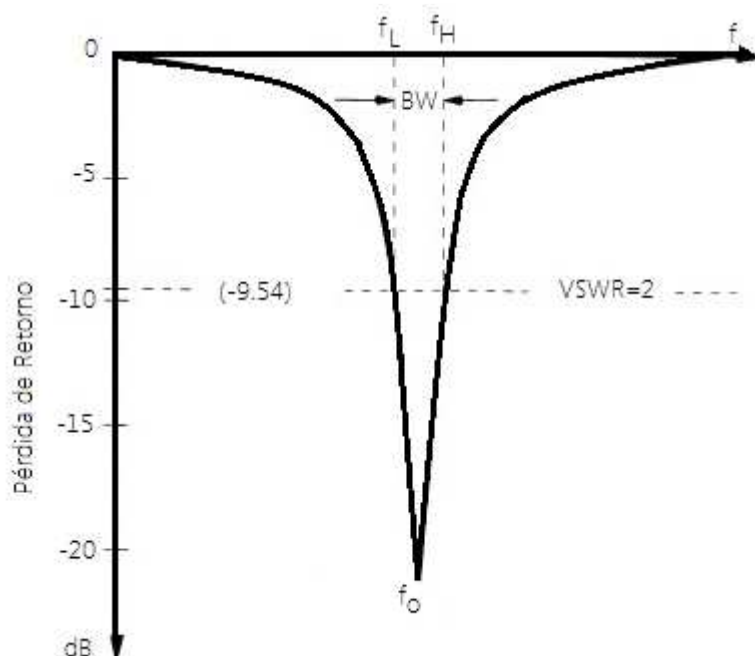


## Procedimiento

Se conecta la antena al analizador de antenas mediante los cables y conectores adecuados, procurando que la longitud de dicho cable sea  $\lambda/2$  para que se encuentre en completa resonancia la antena y no genere desfases.

Se ajusta la frecuencia inicial y la final en el analizador de tal modo que en esta se observe un barrido de frecuencias que ayuden a analizar la respuesta de la antena.

Se selecciona la media a tomar en el analizador para determinar la frecuencia de funcionamiento, VSWR, Pérdida de Retorno o Carta de Smith.



*Gráfica de frecuencia vs Pérdida de retorno o VSWR*

Tomar medidas con la antena tanto en polarización horizontal como polarización vertical.

## Análisis de resultados

- Realice el cálculo analítico de pérdidas de retorno y realice la comparación con el resultado de las mediciones.
- Qué representación tiene en la carta de Smith cuando el valor de respuesta de la antena está más cercano al centro de esta?

- 
- c) Qué consideraciones se toman para obtener el ancho de banda de la ante? Y por qué dichos valores son los límites del ancho de banda?
  - d) Qué determina el ancho de banda de la antena?

## PRÁCTICA N°3

### MEDICIÓN DE PARÁMETROS DE RESONANCIA DE CIRCUITOS DE RF, RLC

#### Objetivo General

Aprender y comprender la respuesta de los circuitos de RF, RLC

#### Objetivos Específicos

- Encontrar la frecuencia de resonancia de un circuito de RF.
- Determinar el tipo de respuesta de un circuito RF.
- Conocer la respuesta de los instrumentos de laboratorio.

#### Introducción

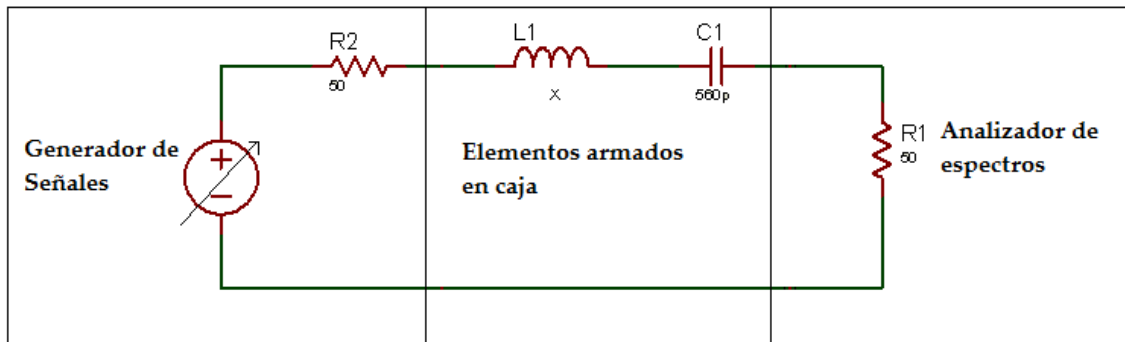
Un circuito resonante es aquel que se encuentra constituido por una bobina y un capacitor conectados a una fuente generadora. Este circuito es considerado uno de los más importantes debido que por ejemplo en la vida diaria este tipo de circuitos se usa para seleccionar una señal deseada de radio o televisión de las tantas que hay en el entorno.

En estos circuitos se logra la frecuencia de resonancia cuando tanto voltaje como corriente se encuentran en fase, para que esto ocurra la admitancia debe ser puramente real. Esto se logra cuando una frecuencia logra que la tensión sobre el capacitor y el inductor sea la misma o que sería lo mismo que tanto la reactancia capacitiva como la reactancia inductiva sean iguales.

#### Materiales

- Capacitor  $0.5\text{ nF}$  y  $0.3\text{ nF}$
- Inductancia valor X
- Cable coaxial RG58
- Conectores tipo n hembra para la caja de armado y macho para cable y conector bnc que va al generador.
- Resistencias de  $50\Omega$
- Caja para armar circuito
- Generador de señales
- Analizador de espectros

## Procedimiento



*Circuito 1 RLC*

Armar el circuito 1 en la caja con el cual se tomarán las medidas, percatándose que todas las tierras sean comunes y que los cables que van del generador al circuito y del circuito al analizador tengan una longitud de  $n$  veces  $\lambda/2$  para que el circuito esté en resonancia.

Tomar las mediciones de nivel de salida del generador estando este ajustado en  $90 \text{ dBu}$  o a una potencia fija para tenerlo como referencia para las futuras mediciones, esto se realiza conectando directamente el generador al analizador.

$f(\text{MHz})$	$P_o(\text{dBm})$
1	
5	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
70	
80	
90	
100	
110	
120	
130	
140	
150	

Una vez tomadas las medidas de referencia se conecta tanto generador como analizador a la caja donde se encuentra el circuito armado y de esta manera podamos tomar las diferentes medidas

para ver el comportamiento de este según la frecuencia que lo alimenta y de esta manera poder determinar el valor de una inductancia  $X$  conectada teniendo como datos conocidos la capacitancia de  $0.5\text{ nF}$  y que las resistencias internas tanto del generador como del analizador son de  $50\Omega$ . Se puede hacer una comparación del circuito cuando la caja se encuentra cerrada ( $PoT$ ) o cuando se encuentra abierta ( $PoST$ ).

$f(\text{MHz})$	$PoT(\text{dBm})$	$PoST(\text{dBm})$
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		
1		
1,5		
2		
2,5		
3		
3,5		
4		
5		
6		
8		

10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		

Obtenemos las para revisar las variaciones de las mediciones obtenidas realizando la gráfica de respuesta de circuito frecuencia vs potencia observada en el analizador.

Una vez obtenida esta frecuencia de resonancia se puede encontrar el valor de la inductancia y de este modo verificar el valor que en esta dice con el valor obtenido prácticamente.

$$L = \frac{1}{\omega_o^2 \cdot C}$$

Ahora se procederá a tomar las mismas medidas variando la capacitancia del circuito a una de  $0.33\text{ nF}$  para ver que tanto difiere la inductancia en este caso.

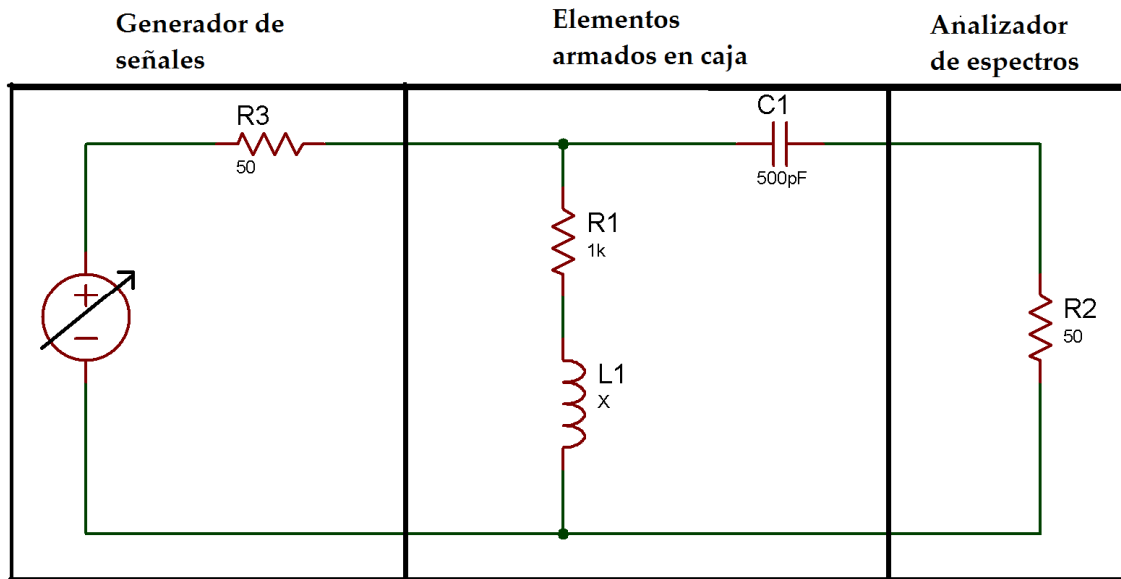
$f(\text{MHz})$	$PoT(\text{dBm})$	$PoS(\text{dBm})$
0,2		
0,3		
0,4		
0,5		
0,6		
0,7		
0,8		
0,9		
1		
1,5		
2		
2,5		
3		
3,5		
4		
5		
6		
8		

10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		

Con estas medidas para ver qué respuesta dio el circuito armado realizando la gráfica de respuesta de circuito frecuencia vs potencia observada en el analizador.

Calculada la frecuencia de resonancia se podrá calcular el valor de la inductancia.

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 \cdot C}$$



Circuito 2 RLC

Se procederá a armar el segundo circuito como se muestra en el esquema y se tomarán las mismas medidas que en el circuito anterior y se observará el resultado de los valores obtenidos realizando la gráfica de respuesta de circuito frecuencia vs potencia observada en el analizador.

$f(\text{MHz})$	$PoT(\text{dBm})$
0,2	
0,3	
0,4	
0,5	
0,6	
0,7	
0,8	
0,9	
1	
1,5	
2	
2,5	
3	
3,5	
4	
4,5	
5	
6	

8	
10	
15	
20	
25	
26	
27	
28	
29	
30	
31	
32	
33	
34	
35	
40	
45	
50	
55	

60	
70	
80	
81	
82	
83	
84	
85	
86	
87	
88	
89	
90	
100	
110	
120	
130	
140	
150	

### **Análisis de Resultados**

- a) Analice la respuesta del circuito 1 y la respuesta del circuito 2.
- b) Realice una comparación entre las respuestas de los dos circuitos.
- c) Por qué es importante la longitud del cable que conecta el circuito con el generador y el analizador?
- d) Por qué la variación de potencia entre el valor tomado de referencia y el valor máximo de potencia en los circuitos?



## PRÁCTICA N°4

### ANCHO DE BANDA DE LÍNEAS DE TRANSMISIÓN

#### Objetivo General

Determinar el ancho de banda de una línea de transmisión y stub

#### Objetivos específicos

- Determinar la frecuencia a la cual trabaja una línea de transmisión.
- Determinar el método de cálculo de las dimensiones de un stub en paralelo.
- Determinar a la frecuencia a la cual trabaja una línea de transmisión con stub.

#### Introducción

Es común que se deba conectar una carga a una línea de impedancia característica diferente. En tal caso existirá una onda reflejada que disminuye la potencia entregada a la carga y puede tener efectos adversos en el generador, crear sobretensiones y sobrecorrientes sobre la línea capaces de causar daños, etc.

Para evitar estas situaciones problemáticas existen distintos mecanismos de adaptación entre la línea y la carga.

Si la impedancia característica de la línea de transmisión no coincide con la impedancia de carga, existe onda estacionaria.

Puede situarse la red en cualquier otro punto del circuito, por ejemplo entre el final de la línea y la carga, pero en este caso no se podría eliminar la onda reflejada a no ser que la impedancia interna del generador fuese igual a la impedancia característica de la línea.

En la práctica, la red adaptadora es una parte más del generador y es muy conveniente que la impedancia interna y la impedancia característica de la línea sean iguales.

### **Materiales**

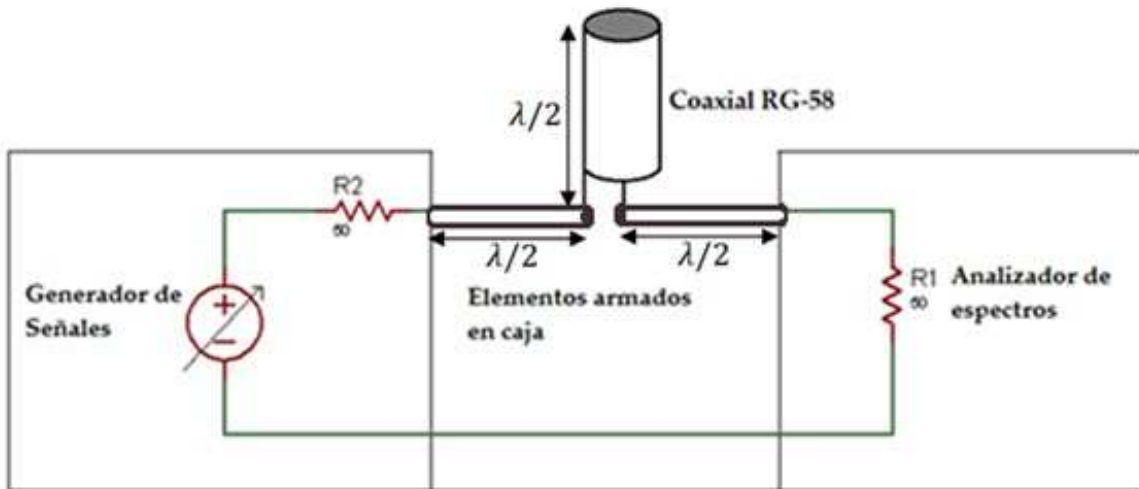
- Cable coaxial RG-58
- Generador de señales
- Analizador de espectros
- Caja para armado de circuito.
- Conectores tipo n hembra para la caja de armado y macho para cable y conector bnc que va al generador.
- Resistencia  $50\Omega$ .

### **Procedimiento**

Se calcula la longitud de la línea de transmisión que sea equivalente a  $n$  veces  $\lambda/2$  y que el cable que va del generador a la caja sea  $n$ -veces  $\lambda/2$  para lograr que el circuito tenga resonancia en la frecuencia deseada sin desplazamientos, además se debe considerar el factor de velocidad ( $v$ ) del cable el cual va a afectar en la medida de la línea de transmisión y así obtener valores prácticos reales,  $f$  la frecuencia que deseamos trabajar y  $c$  la velocidad de la luz.

$$\lambda = \frac{v \cdot c}{f}$$

Armar el circuito como muestra la figura tomando en consideración las longitudes de los cables explicadas anteriormente.



Circuito de línea de transmisión

Siendo:

$R1$  Y  $R2 \rightarrow$  Resistencias

Ajustar el analizador de espectros su span y el generador en una potencia de referencia constante. Posteriormente tomar las medidas de la línea de transmisión extendida ( $P_{o1}$ ) y la línea de transmisión recogida dentro de la caja ( $P_{o2}$ ). Para estas mediciones se considerará la línea de transmisión que termina en cortocircuito.

$f(\text{MHz})$	$Po1(\text{dBm})$	$Po2(\text{dBm})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
8		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		

65		
70		
75		
80		
85		
90		
95		
100		
105		
110		
115		
120		
125		
130		
135		
140		
145		
150		

Realizar la gráfica de respuesta de circuito frecuencia vs potencia observada en el analizador. Se procede a tomar las mismas medidas pero con la línea de transmisión terminada en circuito abierto.

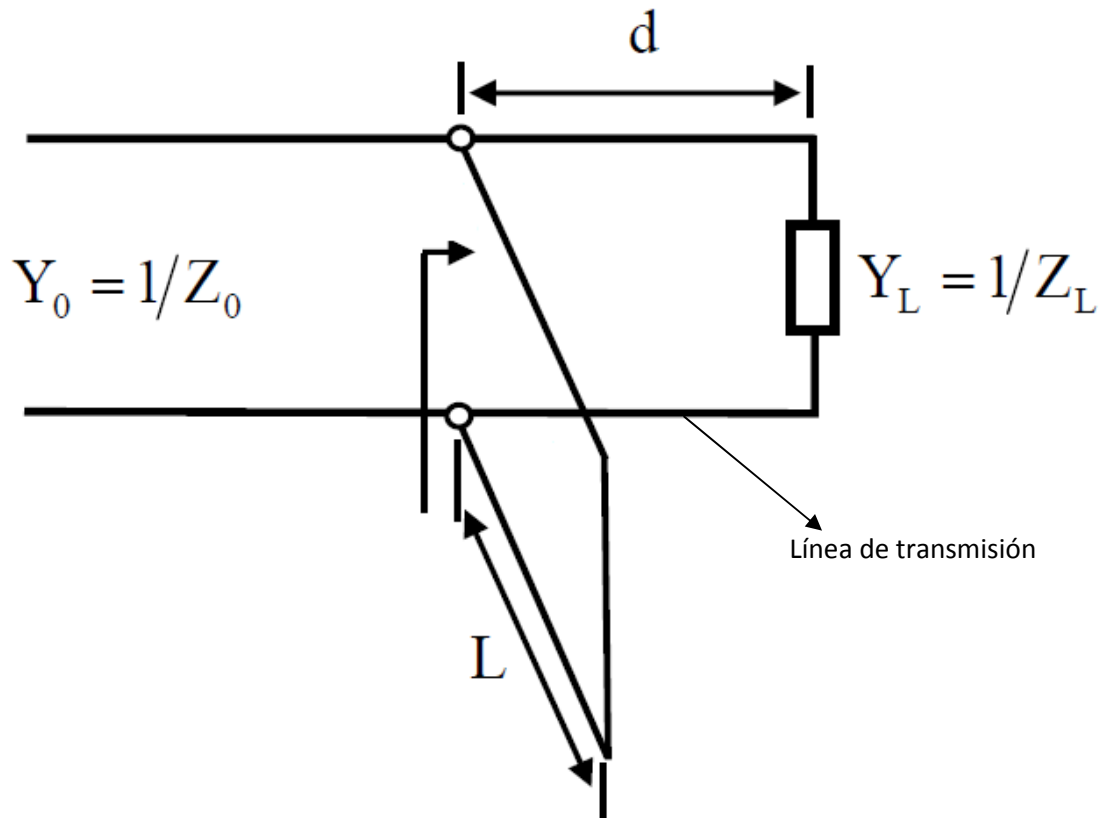
$f(\text{MHz})$	$Po1(\text{dBm})$	$Po2(\text{dBm})$
1		
2		
3		
4		
5		
6		
8		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		
65		
70		
75		
80		

81		
82		
83		
84		
85		
86		
87		
88		
89		
90		
95		
100		
105		
110		
115		
120		
125		
130		
135		
140		
145		
150		

Realizar la gráfica de respuesta de circuito frecuencia vs potencia observada en el analizador. Ahora se va a realizar las mediciones con un adaptador (stub). Esta adaptación se usará para evitar la aparición de una onda reflejada y mediante esta adaptación conjugada se calculará para que el generador entregue toda su potencia a la línea y esto será si la impedancia de entrada es igual al conjugado de la impedancia interna del generador.

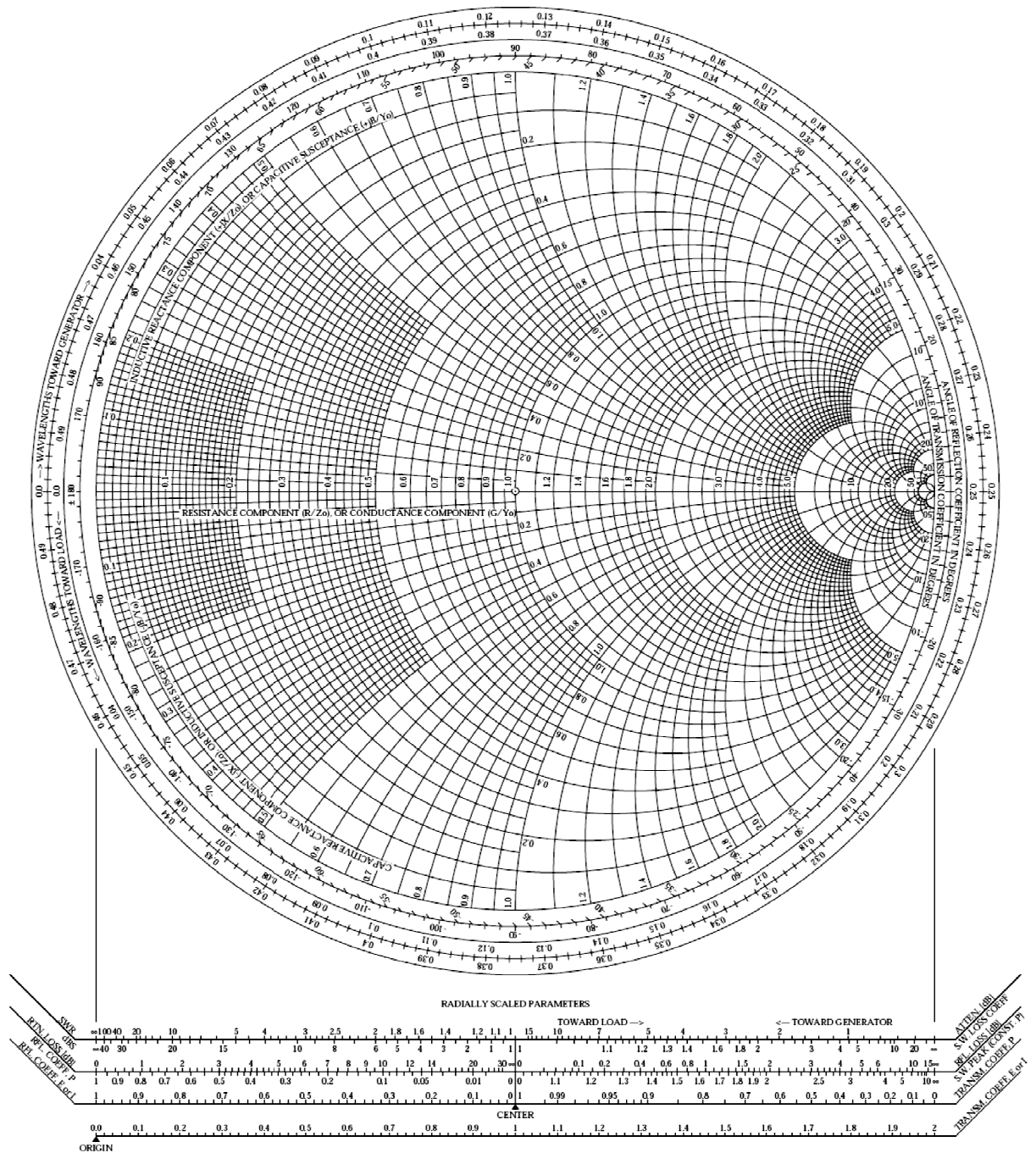
En este caso se va a asumir una impedancia netamente real de  $Z_L = 100\Omega$  en base a la cual se calculará los valores de la longitud

( $L$ ) del stub y a qué distancia ( $d$ ) se lo va a poner, considerando una impedancia  $Z_0 = 50\Omega$  el cual corresponde a la resistencia interna del generador.



*Esquema de añadir Stub a línea de transmisión*

Para el cálculo de las dimensiones del stub y donde debe estar ubicado se procede a usar la carta de Smith.



Carta de Smith Cálculo de ubicación de stub según su frecuencia

Con el primer tramo (de distancia  $d$ ) se traslada  $\bar{Y}_L$  (hacia el generador) en la Carta de Smith hasta que su parte real coincida con la admitancia característica de la línea ( $\bar{Y}_C = 1$ , círculo de radio 1).

Y con esos puntos se obtendrán los valores de distancia.

El stub debe introducir una admitancia igual a  $-jB$  para eliminar la susceptancia introducida por el primer elemento de longitud  $d$ .

La longitud  $L$  se calcula a partir del valor  $-jB$  moviéndose hacia la carga del stub. Lo cual es equivalente moverse en dirección al generador desde la carga del stub a su inicio.

Se arma el stub en la línea de transmisión con las dimensiones obtenidas en el cálculo y se procede a tomar las medidas estando el este en cortocircuito y posteriormente en circuito abierto.

$f(\text{MHz})$	$P_{o1}(\text{dBm})$
1	
2	
3	
4	
5	
6	
8	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	
45	
50	
55	
60	
65	
70	
75	
80	
85	

90	
95	
100	
105	
110	
115	
116	
117	
118	
119	
120	
121	
122	
123	
124	
125	
130	
135	
140	
145	
150	



$f(\text{MHz})$	$P_{o1}(\text{dBm})$
1	
2	
3	
4	
5	
6	
8	
10	
15	
20	
25	
30	
35	
40	
45	
50	
55	
60	
65	
70	
75	
80	

85	
90	
95	
100	
105	
110	
115	
116	
117	
118	
119	
120	
121	
122	
123	
124	
125	
130	
135	
140	
145	
150	

**Análisis de Resultados**

- a) Explique la respuesta observada en el circuito 1.
- b) Obtenga los valores equivalentes en capacitancia, inductancia y resistencia de la línea de transmisión.
- c) Explique la respuesta observada en el circuito 2.
- d) Cómo varía la respuesta obtenida al considerar el factor de velocidad del cable ( $v$ ) o al no considerarlo para el análisis?
- e) Cumple el stub su objetivo en la línea de transmisión? Sustente su respuesta.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]. <http://www.anritsu.com/en-AU/Downloads/Brochures-DatasheetsandCatalogs/Brochure/DWL3726.aspx>
- [2]. <http://www.anritsu.com/en-AU/Downloads/Brochures-DatasheetsandCatalogs/Brochure/DWL2648.aspx>
- [3]. <http://www.anritsu.com/en-AU/Downloads/Manuals/UserGuide/DWL3733.aspx>
- [4]. [http://www.ensenamexico.net/hector/it/reporte\\_antenas.php](http://www.ensenamexico.net/hector/it/reporte_antenas.php)
- [5]. ANTENAS, Ingeniero David Andrade, Libro en formato digital
- [6]. <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo350/Tablas%20y%20curvas%20de%20dise%20fio/Yagi.doc>
- [7]. <http://www.qsl.net/xe3rn/coaxiales.htm>
- [8]. [http://www.angelfire.com/cantina/la\\_guayaba\\_asesina/coaxial.htm](http://www.angelfire.com/cantina/la_guayaba_asesina/coaxial.htm)
- [9]. <http://es.scribd.com/doc/42394846/Conectores-y-Adapt-Adore-RF>
- [10]. <http://www.muchotrasto.com/Diferencia%20entre%20conectores%20SMA%20y%20RP-SMA%20de%20RF.php>
- [11]. <http://spanish.alibaba.com/product-ifm/sma-range-of-connectors-sma--239336083.html>
- [12]. <http://www.astronomos.cl/conocimientos/avanzado/Presentacion-antenas.pdf>
- [13]. <http://es.scribd.com/doc/7272053/PRACTICA-5>

- [14]. <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040050/Descargas/cap-seis/radiacioncampo.pdf>
- [15]. <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/electric/serres.html>
- [16]. <http://materias.fi.uba.ar/6209/download/6-Lineas2.pdf>

## **FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO**

El presente proyecto de grado fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica, reposando en la Escuela Politécnica del Ejército desde:

Sangolquí,

PhD. Crnl. Edwin Chávez.

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y  
TELECOMUNICACIONES**

Dr. Jorge Carvajal.

**SECRETARIO ACADÉMICO**

Rafael Alejandro Arteaga Lara

**AUTOR**