

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA GUIA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO
BASADA EN EL EQUIPO DE MEDICIÓN DE ESPECTRO DE RADIACIÓN DE
ANTENAS LAB-VOLT**

EDUARDO RAFAEL ORTEGA LEÓN

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
BUCARAMANGA**

2011

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA GUIA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO
BASADA EN EL EQUIPO DE MEDICIÓN DE ESPECTRO DE RADIACIÓN DE
ANTENAS LAB-VOLT**

EDUARDO RAFAEL ORTEGA LEÓN

Informe final del proyecto para optar el título de Ingeniero Electrónico

DIRECTOR:

ALEX ALBERTO MONCLOU SALCEDO M.Sc
Ingeniero Electrónico

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
FACULTAD DE INGENIERIA ELECTRÓNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA
BUCARAMANGA
2011**

Nota de aceptación:

Firma del presidente del jurado

Firma del jurado

Firma del jurado

Bucaramanga, Marzo 28 del 2011

Agradezco a Dios, que siempre guía mi camino y me brinda las mejores
oportunidades para crecer como persona,
A mis padres y mis hermanas por su apoyo y amor incondicional,
Que han contribuido a ser lo que soy, mis valores,
mis principios, y mi perseverancia,
A mis amigos que siempre tuvieron la palabra correcta para impulsarme y no
dejarme dudar en mis metas,
A la Universidad Pontificia Bolivariana por brindarme la oportunidad de desarrollar
mis conocimientos como Ingeniero Electrónico,
A cada uno de los docentes por otorgarme mediante su conocimiento valiosa
información para lograr ser un profesional integro y exitoso,
A cada persona que ha estado en mi camino, Gracias.

*"El Éxito No Se Logra Sólo Con Cualidades Especiales. Es Sobre Todo Un Trabajo
De Constancia, De Método Y De Organización."*

J.P. Sergeant.

EDUARDO RAFAEL ORTEGA LEON

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	
1. OBJETIVOS	12
2. JUSTIFICACIÓN	13
3. CONTENIDO	14
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA LAB-VOLT	14
3.1.1 Descripción general del sistema	14
3.1.1.1 Descripción general del software LVDAM-ANT	14
3.1.1.2 Descripción general del hardware LAB-VOLT	19
3.1.1.2.1 Módulo Generador RF	19
3.1.1.2.2 Módulo Orientador de antena	20
3.1.1.2.3 Interfaz para la adquisición de datos/fuente de alimentación	21
3.1.1.2.4 Cables y accesorios	23
3.1.2 Antenas	24
3.1.2.1 Antenas para 1GHz	24
3.1.2.1.1 Dipolos	24
3.1.2.1.2 Dipolos plegado y dipolo plegado con Balún	25
3.1.2.1.3 Monopolo a nivel del suelo y monopolo de brazos inclinados	25
3.1.2.1.4 De cuadro (circular, cuadrada y formato Diamond (losange))	25
3.1.2.1.5 Yagi-Uda (fija y ajustable)	26
3.1.2.2 Antenas para 10GHz	26
3.1.2.2.1 Guía de ondas abierta en un extremo	26
3.1.2.2.2 Guía de ondas ranurada	26
3.1.2.2.3 De bocina	27
3.1.2.2.4 Helicoidal	27
3.1.2.2.5 Placas	27
3.2 PRÁCTICAS	28
3.2.1 Práctica N°1 Familiarización con el Sistema Didáctico y de Mediación en Antenas (SDMA)	28
3.2.2 Práctica N°2 Guía de ondas abierta en 10GHz	41
3.2.3 Práctica N°3 Antenas de bocina piramidales	52

3.2.4	Práctica N°4	Dipolos ($\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$)	67
3.2.5	Práctica N°5	Antena dipolo plegado $\lambda/2$ y transformación de impedancias con Balunes	78
3.2.6	Práctica N°6	Monopolos	95
3.2.7	Práctica N°7	Antenas de cuadro	105
3.2.8	Práctica N°8	Antenas helicoidales	118
3.2.9	Práctica N°9	Yagi-Uda	137
3.2.10	Práctica N°10	Antena de ranuras	150
3.2.11	Práctica N°11	Antena de una placa rectangular	168
3.2.12	Práctica N°12	Red planar de Microbandas	185
4. CONCLUSIONES			201
5. BIBLIOGRAFÍA			202
6. ANEXO			203
6.1	CALCULO DE LA GANANCIA " BOCINA DE ABERTURA PEQUEÑA"		204
6.2	ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO		209

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: DISEÑO Y ELABORACION DE UNA GUIA DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO BASADA EN EL EQUIPO DE MEDICION DE ESPECTRO DE RADIACION DE ANTENAS LAB-VOLT

AUTOR: EDUARDO RAFAEL ORTEGA LEÓN

FACULTAD: Facultad de Ingeniería Electrónica

DIRECTOR: Alex Alberto Monclou Salcedo

RESUMEN

La Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga, adquirió un Sistema Didáctico de Medición de Antenas (SDMA) de LAB-VOLT modelo 8092, por lo cual es necesario desarrollar guías de prácticas de laboratorio que le permitan al estudiante de la asignatura de Antenas y Propagación dar un uso adecuado al equipo, sacando el mejor provecho posible tanto al software como al hardware suministrado.

El SDMA es un equipo funcional y potente basado en un software (LVDAM-ANT) que le proporciona al estudiante el material didáctico necesario para controlar, analizar y medir la rotación de la antena en estudio para los planos E y H en diferentes tipos de antenas en las bandas de 1 y 10 GHz, de igual manera posee un hardware muy completo conformado por los módulos: Generador de RF modelo 9505, Orientador de antena modelo 9506, interfaz para la adquisición de datos/fuente de alimentación modelo 9507 y una amplia variedad de antenas.

Este proyecto de grado está dividido en doce prácticas las cuales son: Familiarización con el sistema didáctico de medición de antenas (SDMA), Guía de ondas abierta en 10 GHz, Antenas de bocina piramidal, Dipolos ($\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$), Antena dipolo plegado $\lambda/2$ y transformación de impedancias con Balunes, Monopolos, Antenas de cuadro, Antenas helicoidales, Yagi-Uda, Antena de ranuras, Antena de una placa rectangular, Red planar de microbandas.

La finalidad de estas prácticas de laboratorio es explicar los principios esenciales de los diferentes tipos de antenas, además de mostrar a los estudiantes la forma de medir y comparar sus características fundamentales utilizando el SDMA de LAB-VOLT.

PALABRAS CLAVES: Diagrama de radiación, directividad, polarización, impedancia de entrada, ganancia, dipolo, antena de cuadro, antena helicoidal, plano de tierra, antena de apertura, bocina piramidal, placa rectangular, antena, Lab-Volt, transmisión, microbanda, antena de ranura, Yagi, isotrópica, direccional, omnidireccional, ancho de haz, recepción, AHPM

GENERAL ABSTRACT OF TESIS

TITLE: DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LABORATORY PRACTICE GUIDE BASED ON THE EQUIPMENT OF MEASUREMENT OF ANTENNAS RADIATION SPECTRUM OF LAB-VOLT.

AUTHOR: EDUARDO RAFAEL ORTEGA LEÓN

FACULTY: Electronic Engineering

DIRECTOR: Alex Alberto Monclou Salcedo

ABSTRACT

The University Pontificia Bolivariana - Bucaramanga acquired the LAB-VOLT Antenna Training and Measuring System (ATMS), Model 8092. Therefore, it's necessary to develop laboratory practice guides, which allow the student a suitable use of the equipment of antennas and propagation, getting the maximum benefit possible to both software and hardware supplied.

The ATMS is a functional and powerful equipment based on a software (LVDAM-ANT), which provides the student with training materials to control, analyze and measure the rotation of the antenna in the study of the E and H planes in different types of antennas in the 1GHz and 10GHz bands. It also possesses a very complete hardware conformed by the modules: RF Generator model 9505, antenna positioner model 9506, Data acquisition interface/power model 9507 and many different antenna types.

This graduation project is divided in twelve lab practices: familiarizing with the didactical system of the measurement of the antennas, open waveguide at 10GHz, pyramidal horn antennas, Dipoles ($\lambda/2$, λ and $3\lambda/2$), Half wave folded dipole antennas ($\lambda/2$) and impedances transformation with Baluns, Monopole, Loop antennas, Helical antennas, Yagi-Uda, The Slot antenna, The rectangular patch antenna, Microstrip planar Array antenna.

The purpose of these lab practices is to explain the underlying principles of the different antenna types, and to show students how to measure and compare their fundamental characteristics using the ATMS of LAB-VOLT.

KEYWORDS: Radiation pattern, directivity, polarization ,input impedance, gain, dipole, loop antenna ,helical antenna, ground effect, aperture antenna, pyramidal horn, rectangular patch, antenna, lab-volt, transmission, microstrip, slot antenna, Yagi, isotropic, directional, omnidirectional, beamwid, reception, HPBW.

INTRODUCCION

Esta guía de prácticas de laboratorio permitirá a los estudiantes de la asignatura Antenas y Propagación del programa de Ingeniería Electrónica, familiarizarse con el Software y el Hardware del Sistema Didáctico de Medición en Antenas (SDMA), permitiéndoles desarrollar las diferentes prácticas, sacando el mayor provecho de equipo.

En la descripción general del Software el estudiante aprenderá cómo inicializar y manejar el entorno del sistema aprendiendo a usar el Software (LVDAM-ANT). En cuanto al Hardware, se conocerán los diferentes tipos de antenas y módulos que constituyen el equipo de medición de antenas Lab-Volt, el cual está diseñado para operar en las bandas de 1 y 10GHz, permitiendo la medición de las características de las antenas en estudio.

En la sección de prácticas el estudiante podrá utilizar el software y el hardware para generar los diagramas de radiación de cada una de las antenas suministradas con el equipo. Así mismo, determinará experimentalmente las características radioeléctricas de los diferentes tipos de antenas, su conveniencia de uso y aplicaciones en determinadas situaciones y necesidades.

De igual manera podrá analizar sus resultados y comprender las diferencias y similitudes de las mismas, confrontando sus conocimientos teóricos con los resultados obtenidos experimentalmente.

PRECAUCIONES CON LOS CAMPOS DE RF

El fabricante del equipo de medición de antenas LAB-VOLT nos hace las siguientes recomendaciones de seguridad: “Cuando se estudian las antenas es muy importante desarrollar buenos hábitos de seguridad. Aunque las microondas son invisibles, pueden resultar peligrosas cuando sus niveles son elevados o los tiempos de exposición muy largos. La regla de seguridad más importante al trabajar con equipamiento de microondas es evitar la exposición a niveles peligrosos de radiación.

Los niveles de radiación del sistema didáctico de medición de antenas son muy bajos como para resultar perjudiciales. Normalmente, la potencia irradiada por el generador de RF es de 2mW a 1GHz y de 10 mW a 10 GHz. En comparación, un teléfono celular irradia 300 mW a 850 MHz.

Para desarrollar esos buenos hábitos de seguridad, usted debería, cuando es posible, colocar el interruptor POTENCIA RF en la posición NO EMITE antes de colocarse frente a la antena transmisora. Además, evite mirar directamente en dirección a una fuente emisora de microondas, tales como una guía de ondas o antena de bocina.”

Para evitar distorsión y reflexión de la señal, asegúrese de que el sitio elegido para realizar la adquisición de diagrama de radiación esté libre de obstáculos. La señal que transmite una antena puede resultar reflejada por objetos que se encuentren en el camino de propagación.

Cuando manipule conexiones tipo SMA, siga siempre las siguientes recomendaciones:

- Asegúrese de que los conectores estén libres de toda partícula antes de utilizarlos.
- Asegúrese de que los conectores se encuentren bien alineados antes de enroscarlos entre sí.
- Desenrosque los conectores cuando tenga que girar una antena.
- Asegúrese de que los conectores estén enroscados firmemente entre sí a fin de evitar pérdidas de potencia cuando realice mediciones.

1. OBJETIVOS

1.1 Generales:

Desarrollar y adaptar una guía de prácticas de laboratorio que permita al estudiante de Ingeniería Electrónica complementar los conocimientos teóricos adquiridos mediante la utilización del laboratorio de antenas del Sistema Didáctico y de Medición en Antenas (SDMA) Lab-Volt.

1.2 Específicos:

- Implementar prácticas de laboratorio que permitan adquirir y comparar los diagramas de radiación producidos por diferentes antenas.
- Ensamblar los diferentes tipos de antenas para frecuencias de 1 y 10GHz, y medir su campo de radiación.
- Comprender, comparar y analizar los parámetros dados una vez se adquiera su diagrama de radiación de cada antena.

2. JUSTIFICACIÓN

Los rápidos avances tecnológicos y en especial en las telecomunicaciones, donde se ha conseguido hacer transmisiones en frecuencias cada vez más elevadas, permiten que se pueda disponer de equipos muy pequeños en los cuales las antenas pasan desapercibidas. Estas tienen diferentes formas, poseen características muy particulares y su desarrollo ha requerido tener en cuenta muchas consideraciones de diseño. En la actualidad las antenas no podrán ser eliminadas o reemplazadas mientras se trabaje con equipos que requieran un medio de comunicación usando el espectro radioeléctrico.

La facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana respondiendo a esta necesidad hizo la compra del Sistema Didáctico y de Medición en antenas Lab-Volt, buscando instruir a sus estudiantes en este ámbito. por lo tanto es necesario desarrollar un manual de prácticas que permita capacitar tanto a docentes como a estudiantes en el uso de éstas bajo un ambiente controlado y seguro.

La asignatura de Antenas y propagación proporciona unos conocimientos previos sobre el tema; sin embargo la implementación de un sistema autónomo y didáctico facilita el desarrollo de conceptos teóricos complementando el elemento práctico de las comunicaciones.

3. CONTENIDO

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA LAB-VOLT

3.1.1. Descripción general del sistema:

El sistema didáctico de medición de antenas, es un método por computador para estudiar antenas en las bandas de 1GHz y de 10 GHz. Se basa en un software que se ejecuta con el sistema operativo Windows y un hardware conformado por tres módulos y una amplia selección de antenas.

En la unidad de RF se genera una señal de 1GHz o de 10 GHz que se transmite por una antena fija hacia la antena que se está estudiando, la cual gira 360° cuando se emite la orden de inicio desde el programa. El software controla la rotación de la antena y registra el nivel de la señal recibida; una vez se completa la rotación, el software muestra una representación en coordenadas polares, de la intensidad de la señal recibida en función de la posición angular de la antena en estudio. A esta representación se le denomina diagrama de radiación de la antena y es una de las características más útiles a medir cuando se estudian las antenas; el software permite ver el diagrama de radiación en coordenadas polares, en 2D, en 3D y en los planos EH; el plano E es paralelo al campo eléctrico y el plano H es paralelo al campo magnético.

3.1.1.1. Descripción general del software LVDAM-ANT

LVDAM-ANT es un software de adquisición y gestión de datos para antenas de Lab-volt, controla la rotación de la antena y registra el nivel de la señal recibida.

El software se instala en el PC bajo el ambiente Windows, creando un ícono en el escritorio. Y corresponde al mostrado en la Figura A.1; el software se inicia al dar doble clic sobre el ícono.



Figura A.1 Ícono del software LVDAM-ANT

Una vez iniciado el software, se muestra la pantalla de inicio del mismo, tal como se muestra en la Figura A.2

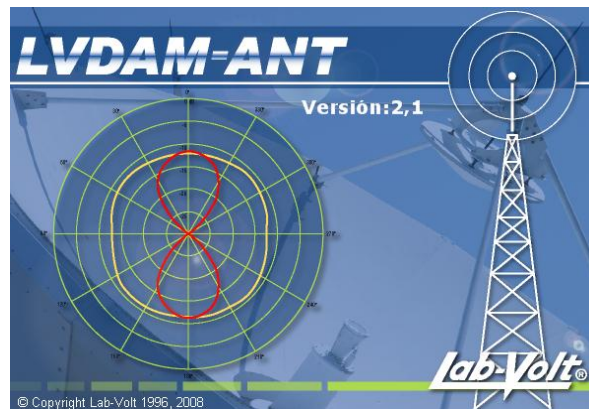


Figura A.2, Pantalla de inicio del software LVDAM-ANT

La visualización de la pantalla de inicio dura unos pocos segundos, y da paso a la pantalla de selección de modo de trabajo; esta pantalla permite seleccionar entre los modos de trabajo autónomo o en línea (por defecto), tal como se puede ver en la Figura A.3

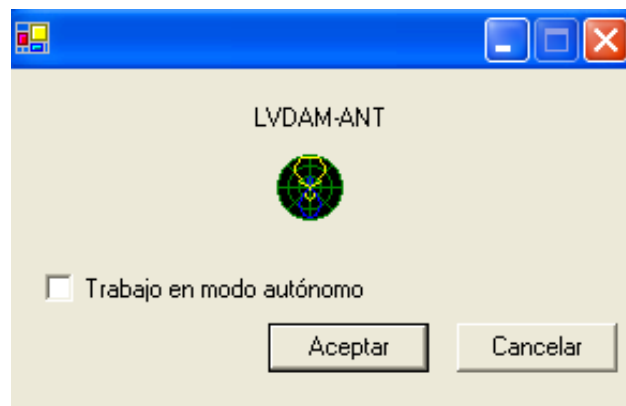


Figura A.3, Pantalla de selección de modo de trabajo

Una vez aceptado el modo de trabajo, se nos presenta la pantalla de trabajo; en esta pantalla podemos ver 8 secciones básicas tal como se muestran en la Figura A.4

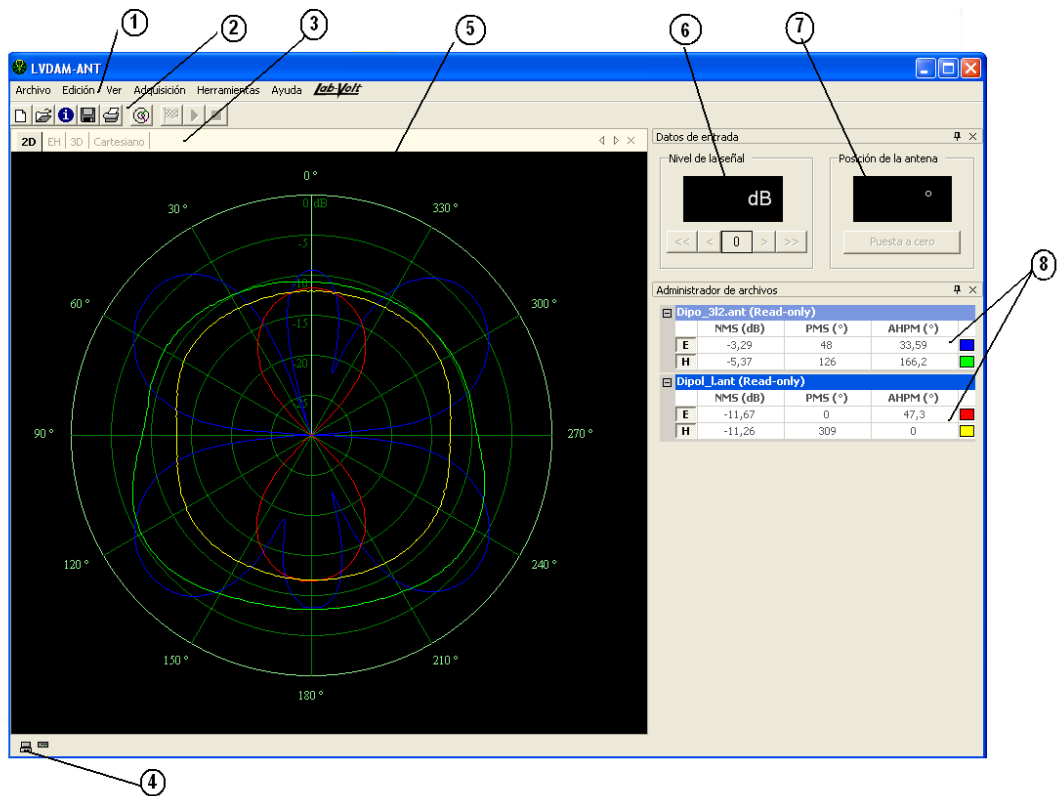


Figura A.4 Pantalla principal del software LVDAM-ANT (secciones)

Las diferentes secciones de la pantalla principal, Figura A.4, se identifican de la siguiente manera:

- | | |
|---------------------------|--|
| 1.) Barra de menús | Da acceso a los menús y a los comandos. |
| 2.) Barra de herramientas | permite seleccionar los comandos usados con más frecuencia |
| 3.) Modo de visualización | Permite seleccionar entre los diferentes modos de visualización 2D, EH, 3D y cartesiano. |
| 4.) Barra de estado | Indica el estado de la conexión con la interfaz para la adquisición de datos |

5.) Área de visualización	Zona de la pantalla en que aparecen los diagramas de radiación adquiridos.
6.) Nivel de la señal	Indica el nivel de la señal recibida en ese momento y permite ajustar su atenuación.
7.) Posición de la antena	Indica la posición de la antena que se está estudiando y permite poner el visualizador en 0°.
8.) Administrador de archivos	Muestra el nivel máximo de la señal (NMS), la posición máxima de la señal (PMS) y la anchura del haz de potencia mitad (AHPM) de los archivos abiertos.

Barra de herramientas: Los botones de la barra de herramientas junto a sus respectivas funciones, se muestran en la Tabla A.1

BOTON	NOMBRE	FUNCIÓN
	NUEVO	Crea un nuevo documento de un diagrama de radiación de una antena
	ABRIR ARCHIVO	Abre el archivo de una antena guardado anteriormente (igual al comando abrir del menú de inicio)
	RESUMEN DE INFORMACIONES	Abre el cuadro de diálogo resumen de informaciones en que aparece información acerca de los archivos de las antenas.
	GUARDAR	Guarda el archivo de la antena seleccionada (igual al comando guardar del menú archivo)
	IMPRIMIR	Imprime los diagramas de radiación que se visualizan (igual al comando imprimir del menú archivo)

	CURSORES	Muestra dos cursores móviles e ilustra la posición de dichos cursores así como los niveles relativos de las señales de cada uno de los diagramas de radiación. (igual al comando cursores del menú ver)
	AJUSTE DEL INICIO DEL TRAZADO	Permite ajustar la posición de partida en la que comenzara la adquisición del diagrama de radiación a fin de evitar su discontinuidad. (igual al comando ajuste del inicio del trazado del menú adquisición)
	INICIAR	Hace comenzar la rotación de la antena. La adquisición empezara inmediatamente o, si se activo el ajuste del inicio del trazado, comenzara en la posición de partida. (igual al comando iniciar del menú de adquisición)
	DETENER	Hace detener la adquisición y la rotación de la antena. Si se detiene la adquisición antes de su finalización, la parte trazada del diagrama de radiación desaparecerá. (igual al comando detener del menú de adquisición).

Tabla A.1 Botones de la barra de herramientas

Administrador de archivos: Presenta los datos relacionados con los archivos de los diagramas de radiación abiertos, la Figura A.5 muestra un ejemplo de datos del diagrama de radiación de dos antenas dipolo de $\lambda/2$ Y $3\lambda/2$.

Administrador de archivos				
Dipol_12.ant (Read-only)				
	NMS (dB)	PMS (°)	AHPM (°)	
E	-2,77	352	65,71	
H	-3,21	283	0	
Dipo_3l2.ant (Read-only)				
	NMS (dB)	PMS (°)	AHPM (°)	
E	-3,29	48	33,59	
H	-5,37	126	166,2	

Figura A.5 Datos de los archivos del diagrama de radiación de antenas dipolo de $\lambda/2$ Y $3\lambda/2$.

Los botones E y H se utilizan para visualizar o para ocultar los diagramas de radiación de los planos E y H respectivamente, además se presentan los siguientes datos:

NMS (dB)	Nivel máximo de la señal en dB del diagrama de radiación.
PMS (°)	Posición máxima de la señal: Angulo que corresponde al nivel máximo de la señal del diagrama de radiación
AHPM (°)	Anchura del haz de potencia mitad: separación angular de los puntos del haz principal donde la potencia es igual a la mitad (-3 dB) del nivel máximo de la señal.

3.1.1.2 Descripción general del Hardware LAB-VOLT

El hardware del equipo de medición de espectro de radiación de antenas Lab-Volt está constituido por tres módulos funcionales y una amplia variedad de antenas diseñadas para las dos bandas de frecuencia en las que opera el equipo.

3.1.1.2.1 Módulo Generador de RF

El generador de RF (Figura A.6), Suministra la señal de RF a la antena de TX en dos bandas de frecuencia seleccionables 1 GHz y 10 GHz; estos dos osciladores pueden trabajar en modo continuo (ondas continuas) o en modo modulado en amplitud para un (1) KHz; este módulo posee su propia fuente de alimentación interna.



Figura A.6 Generador de RF

El módulo generador de RF de la Figura A.6 tiene los siguientes controles y conexiones:

ALIMENTACION.....	Enciende o apaga el módulo (posiciones 1 y 0 respectivamente)	1
MODO.....	Selecciona el modo CONT (ondas continuas) o el modo MODULADO en amplitud 1 KHz	
POTENCIA RF	Enciende o apaga la salida de potencia RF: cuando se pulsa emite, un Led se enciende y el módulo emite un sonido corto y agudo	
SALIDA.....	Conexión para la antena transmisora	

Las anteriores funciones están para cada uno de los dos osciladores de 1 GHz y 10 GHz

ENTRADA DE VOLTAJE PARA SINTONIA	 Permite conectar una fuente de voltaje externa para controlar la frecuencia de salida en un rango de 750 MHz y 1.25 GHz Esta función es solo para el oscilador de 1 GHz
--	--

3.1.1.2.2 Módulo Orientador de antena

El orientador de antena (Figura A.7) tiene un motor que hace rotar la antena 360° tiene un soporte deslizante en el cual se fija el mástil que soporta la antena.



Figura A.7 Orientador de antena

El módulo orientador de antena tiene los siguientes controles y funciones

ENTRADA DE ALIMENTACION	Entrada de alimentación proveniente de la fuente de alimentación (modulo de interfaz y fuente de alimentación)
E/S DE CONTROL	Se conecta a la E/S DEL CONTROL DE ANTENA de la interfaz para la adquisición de datos
SALIDA DE SEÑAL	Se conecta a la ENTRADA DE LA SEÑAL ANALOGICA de la interfaz para la adquisición de datos
ENTRADA RF	Se conecta a la entrada receptora. Esta entrada está ubicada en la parte superior del módulo

3.1.1.2.3 Interfaz para la adquisición de datos/fuente de alimentación

Esta interfaz, (Figura A.8) acopla el orientador de antena con el PC, posee su propio microprocesador, e incluye la fuente de energía con la que se alimenta el orientador de antena.



Figura A.8 Interfaz para la adquisición de datos/ fuente de alimentación

La Interfaz para la adquisición de datos/fuente de alimentación de la Figura A.8 tiene los siguientes controles y conexiones

ALIMENTACION	Enciende o apaga el modulo
HACIA EL ORIENTADOR DE ANTENA	Salida para alimentar el orientador de antena
ENTRADA DE LA ANALOGICA	Se conecta a la SALIDA DE LA SEÑAL del orientador de antena
E/S DE CONTROL	Se conecta a la E/S DE CONTROL DE ANTENA del orientador de antena
PUERTO USB	Se conecta a una entrada USB del computador. Esta salida está localizada en la parte posterior del modulo

Esta unidad se conecta con el módulo orientador de antena por medio de tres cables: uno de energía, uno de control y uno de datos. También se conecta a un computador mediante puerto USB (bus serial universal), como se puede apreciar en la Figura A.9.



Fig. A.9 Diagrama de conexión

3.1.1.2.4 Cables y Accesorios

Las antenas se conectan al equipo mediante cables coaxiales. Estos usan en sus extremos conectores tipo SMA. El equipo cuenta con tres cables tipo SMA: uno corto, uno mediano y uno largo, como se pueden apreciar al la Figura A.10

Además, entre los accesorios se cuenta con los cables necesarios para la interconexión entre los diferentes módulos SDMA, así como también un adaptador de 90° para cuando se emplean las antenas Yagi ajustable y de placas.

Todos los cables y accesorios vienen en una caja de plástico para guardarlos. Asimismo esta caja también cuenta con los accesorios necesarios para montar una antena de bocina como son: sujetadores de cierre rápido, adaptadores de guía de onda a cable coaxial, portaguías de plástico para ajustar la antena en la polarización deseada. También incluye una pieza para cortocircuitar guías de onda y una cinta de cobre para cuando trabajamos con las antenas de ranura.

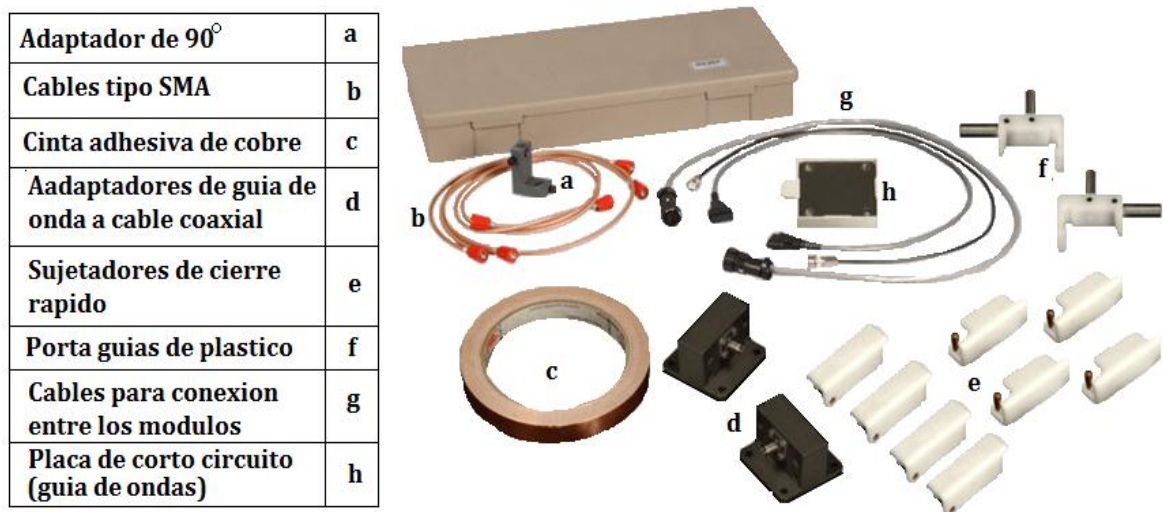


Fig. A.10 Cables y accesorios

3.1.2 Antenas

El sistema Lab-volt cuenta con un completo set de antenas y accesorios, tal como se puede apreciar en la grafica A.11

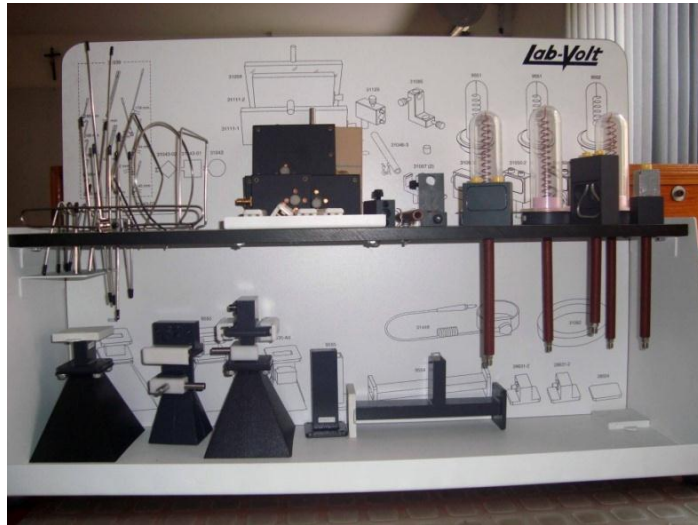


Figura A.11 Set de antenas y accesorios

En el set de antenas suministradas se encuentran antenas para 1 GHz y 10 GHz

3.1.2.1 Antenas Para 1 GHz, se suministran las siguientes antenas:

3.1.2.1.1 Dipolos: Los dipolos disponibles corresponden para una frecuencia real de 915 MHz y están calculados para $\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$. Tal como se pueden ver en la Figura A.12.



Figura A.12 Antenas dipolo a) $\lambda/2$, b) λ y c) $3\lambda/2$

3.1.2.1.2 Dipolo plegado y dipolo plegado con Balún: es suministrado una antena dipolo plegado de $\lambda/2$ que puede ser usada en configuración como dipolo plegado o como dipolo plegado con Balún; se muestra en la Figura A.13.



Figura A.13 Dipolo plegado con Balún.

3.1.2.1.3 Monopolo a nivel del suelo y monopolo de brazos inclinados: se suministran los accesorios para configurar una antena monopolo con plano de tierra y monopolo de brazos inclinados como se muestra en la Figura A.14.

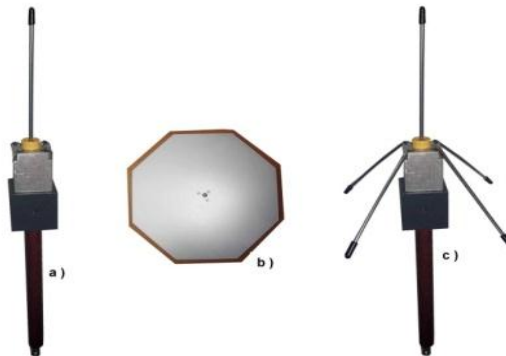


Figura A.14 a) Monopolo, b) Plano de tierra, c) Monopolo de brazos inclinados

3.1.2.1.4 Antena de cuadro:(circular, cuadrada, losange): Dentro del grupo de antenas de cuadro, se suministran 3 antenas tal como se aprecian en la gráfica A.15.

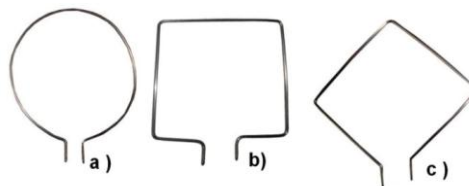


Figura A.15 a) Circular, b) Cuadrada, c) Losange

3.1.2.1.5 Yagi (fija y ajustable): el equipo proporciona dos antenas Yagi, una fija(a) y una con elementos ajustable (b), Figura A.16.

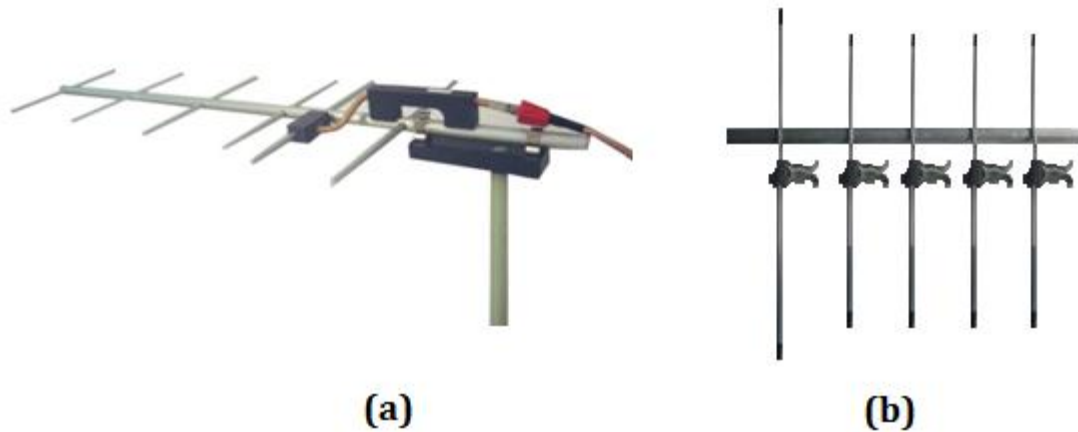


Figura A.16 Antenas Yagi-Uda, a) fija, b) ajustable

3.1.2.2 ANTENAS Para 10 GHz, se suministran las siguientes antenas:

3.1.2.2.1 Guía de ondas abierta en un extremo: esta antena se puede ver en la Figura A.17.



Figura A.17 Antena guía de ondas abierta en un extremo.

3.1.2.2.2 Guía de ondas ranurada: se suministra una antena guía de ondas ranurada, esta antena se puede ver en la Figura A.18.

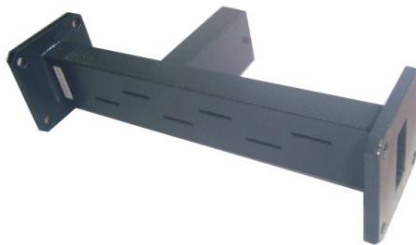


Figura A.18 Antena guía de ondas ranurada

3.1.2.2.3 Antena de bocina: el equipo cuenta con una antena de bocina de abertura pequeña, y dos antenas de bocina de abertura grande, Figura A.19.

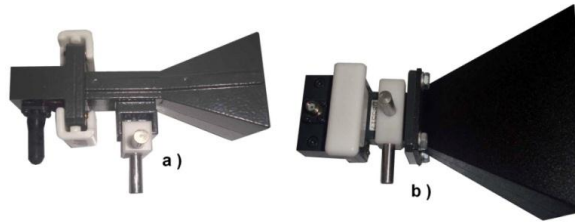


Figura A.19 Antenas de bocina: a) de apertura pequeña, b) de apertura grande

3.1.2.2.4 Antena helicoidal: el equipo cuenta con dos antenas helicoidales de polarización circular a la derecha y una antena helicoidal de polarización a la izquierda tal como se pueden ver en la Figura A.20.



Figura A.20 Antena helicoidales: a) y b) de polarización a la derecha y c) polarización a la izquierda.

3.1.2.2.5 Antenas de placas: el equipo suministra una antena de placa rectangular y dos antenas de placa red alimentadas en serie y en paralelo, estas se pueden ver en la Figura A.21.

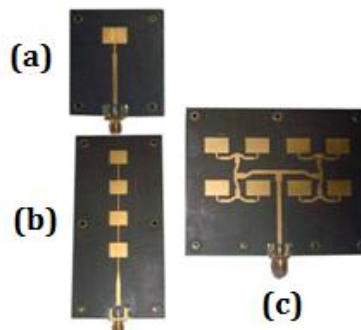


Figura A.21 a) Antenas de placa rectangular, b) Alimentadas en serie y c) Paralelo.

3.2 PRÁCTICAS

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.1 PRÁCTICA N° 1

Familiarización con el Sistema Didáctico y de Medición en Antenas (SDMA)

Objetivo general

Al completar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con el equipo lab-Volt y a su vez con el diagrama de radiación de una antena dipolo de media onda ($\lambda/2$) para una frecuencia de 1GHz, en los planos E y H.

Objetivos específicos

- Familiarizar al estudiante con el sistema didáctico y de medición en antenas de Lab-Volt
- Practicar con una antena dipolo de media onda, conocer su diagrama de radiación, calcular la apertura del haz de potencia mitad AHPM.

Fundamento teórico

Definición de antena

El Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), define una antena como aquella parte de un sistema transmisor o receptor diseñada especialmente para radiar o recibir ondas electromagnéticas. Se han diseñado antenas para diversas aplicaciones con diferentes formas; pero en general, sin importar su forma o la frecuencia a la que responden, todas las antenas tiene algo en común, y lo cual es ser la región de transición entre una zona donde existen ondas electromagnéticas guiadas y otra donde existen ondas en el espacio libre.

La función de una antena es radiar la potencia que se le suministra con las características de direccionalidad adecuadas a la aplicación para la que se usa. Si por ejemplo queremos radiar una señal de AM comercial la radiaremos con una antena omnidireccional, pero si lo que queremos radiar es una señal de comunicaciones fijas, lo haremos con una antena direccional.

Antena Dipolo: Un dipolo es un tipo de antena muy simple, consiste en dos varillas metálicas, generalmente de aluminio; el centro del dipolo está conectado al transmisor o al receptor por medio de una línea de transmisión. El largo del dipolo se denomina L; L es generalmente igual a $\lambda/2$, λ o $3\lambda/2$. Tal como se ilustra en la Figura 1.1.

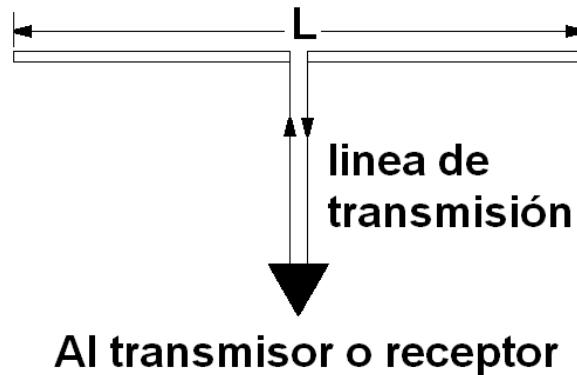


Figura 1.1 Antenas Dipolo

Campos de radiación de una antena: El espacio que rodea una antena se divide generalmente en tres regiones, cuyo radio está asociado directamente a la longitud de onda de la antena; los campos se pueden ver en la Figura 1.2 y son:

- **Campo reactivo:** es la porción de espacio cercano que rodea a la antena; se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$r < 0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}}$$

Donde r es el radio del campo y D la longitud de la antena

- **Campo cercano (Fresnel):** se refiere al campo de radiación que está cerca de la antena, y se calcula de la siguiente manera:

$$0.62 \sqrt{\frac{D^3}{\lambda}} \leq r < \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde r es el radio del campo y D la longitud de la antena

- **Campo lejano (Fraunhofer):** campo de radiación que está a gran distancia de la antena; en esta región la distribución de campo angular es esencialmente independiente de la distancia desde la antena, se puede calcular de la siguiente manera:

$$r \geq \frac{2D^2}{\lambda}$$

Donde r es el radio del campo y D la longitud de la antena

Debido a que el patrón de radiación se basa en el campo lejano, los patrones de radiación de la antena también se dan en ese campo.

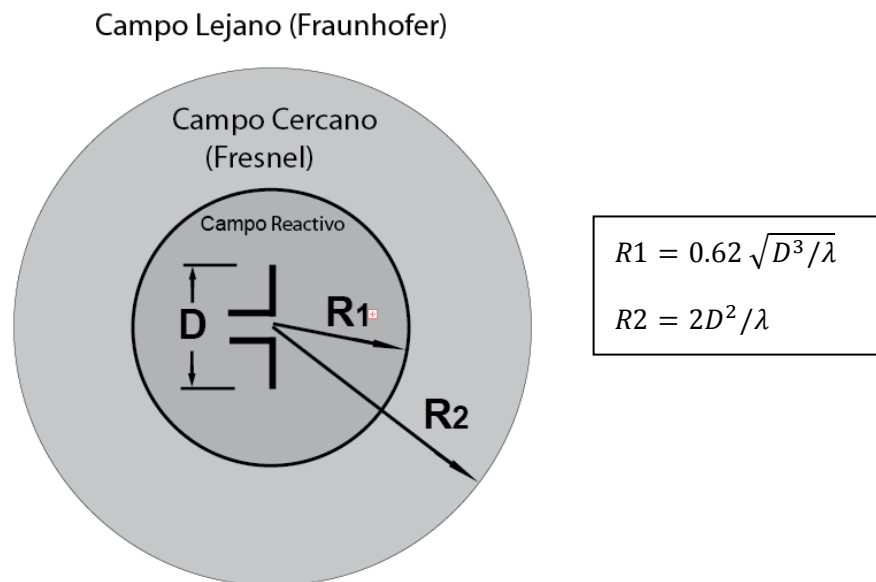


Figura 1.2 Campos de radiación de una antena.¹

Teoría de reciprocidad

El teorema de reciprocidad dice que el diagrama de recepción de una antena es igual al diagrama de la misma antena en transmisión; en virtud de esto, una antena puede ser estudiada en Recepción para conocer su funcionamiento en transmisión.

¹ Fuente : BALANIS, Constantine A. Antenna Theory, Analysis and Design, 3th Ed. New Jersey, Wiley-Interscience, 2005,p.34

Planos E y H

El diagrama de radiación completo de una antena (Figura 1.3) es una función tridimensional, pero para caracterizar las propiedades direccionales de la misma, la representación en dos dimensiones es suficiente. Estas dos dimensiones son en dos planos perpendiculares entre sí; uno de los planos se toma perpendicular al campo eléctrico y el otro plano paralelo al campo magnético (Figura 1.4), Esta representación se denomina en planos E y H.

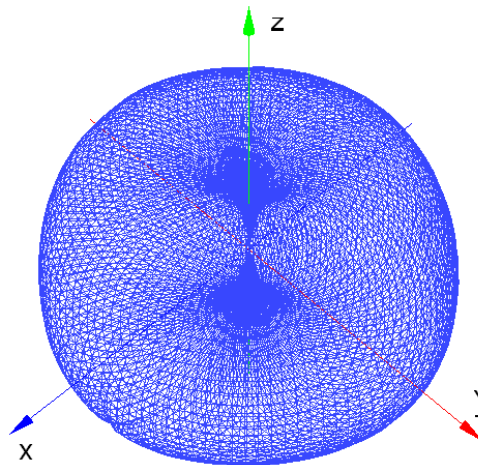


Figura 1.3 Diagrama de radiación tridimensional de un dipolo.

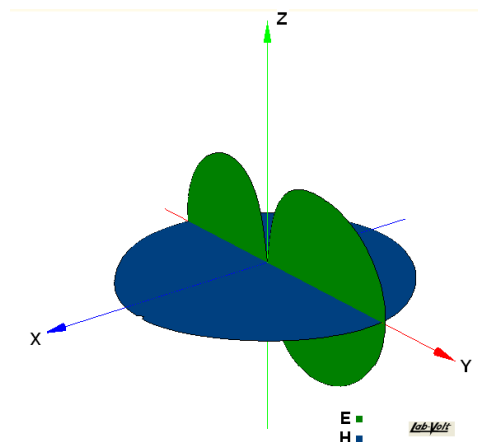


Figura 1.4 Plano E (y-z), plano H (x-y) de un dipolo.

Anchura del Haz de Potencia Mitad (AHPM)

La **AHPM** de una antena es la separación angular de los puntos en la abertura principal (lóbulo mayor del diagrama de radiación) donde la potencia es igual a la mitad (-3 dB) de la radiada en la dirección de potencia máxima. La AHPM de un dipolo ideal es de 90° mientras que para un dipolo real de $\lambda/2$ es aproximadamente de 78° , tal como se muestra en la Figura 1.5.

Potencia mitad: una caída de la mitad de la potencia es equivalente a una atenuación de 3dB teniendo en cuenta que: $10 \log 0.5 = -3\text{dB}$

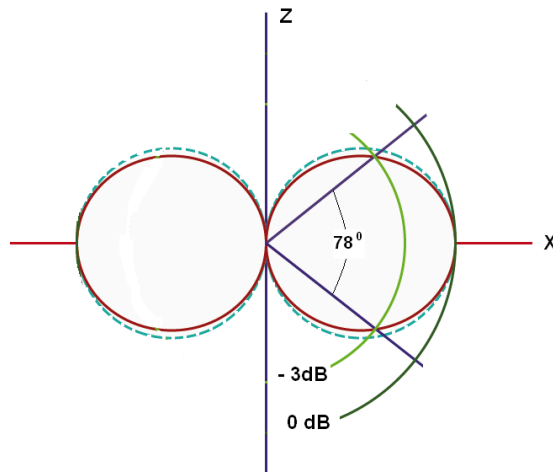


Figura 1.5 Diagrama de radiación de un dipolo $\lambda/2$ en el plano E (línea continua) y de un dipolo ideal línea discontinua.

Polarización de Antena

Considerando el campo lejano o de Fraunhofer, la polarización de una antena indica la dirección en que la intensidad del campo electromagnético es máxima; es muy común relacionar la polarización de una antena partiendo de su forma física. En el caso de las antenas filiformes (dipolos, Yagi) compuestas por uno o varios elementos paralelos entre sí, su campo eléctrico está polarizado linealmente, es decir que durante un ciclo el desplazamiento del vector que representa el campo eléctrico describe una línea recta en el espacio. Estas antenas pueden estar polarizadas horizontalmente o verticalmente. Otro tipo de antenas puede tener polarización circular o elíptica. Las antenas de bocina, de cuadros y de ranura también están polarizadas linealmente.

En la Figura 1.6 se puede observar una antena dipolo polarizada horizontalmente (plano E) y verticalmente (plano H).

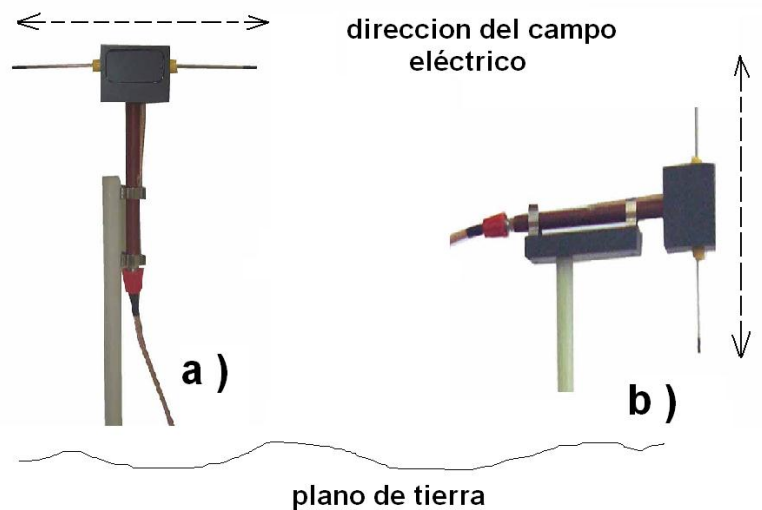


Figura 1.6 Polarización antena dipolo a) Horizontal, b) Vertical

Con el fin de obtener la máxima recepción de señal, se requiere que las dos antenas transmisora y receptora tengan la misma polarización; de no ser así, se tiene una gran pérdida de señal; denominada aislamiento por polarización cruzada.

Procedimiento

Diagrama de radiación de un dipolo de media onda ($\lambda/2$) en 1GHz

A. Materiales:

- Generador de RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antena Yagi fija
- Mástil para antena con clips horizontales
- Mástil para antena con clips verticales
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Varillas para dipolo $\lambda/2$ (calcular)
- Balún antena dipolo
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecte los cables de acuerdo a la Figura 1.1.1

- Alimentación hacia el orientador de antenna
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antenna
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antenna
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

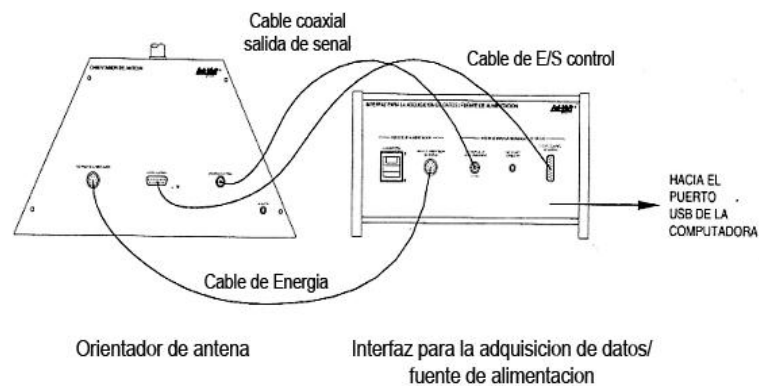


Figura 1.1.1 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Instale el mástil para antena con clips horizontales en el soporte de TX y sujete la antena Yagi con los clips del mástil, oriente los elementos de tal manera que la antena quede polarizada horizontalmente tal como se indica en la Figura 1.1.2.. Conecte el cable tipo SMA largo en la salida del oscilador de 1GHz del generador RF y el otro extremo a la antena Yagi.

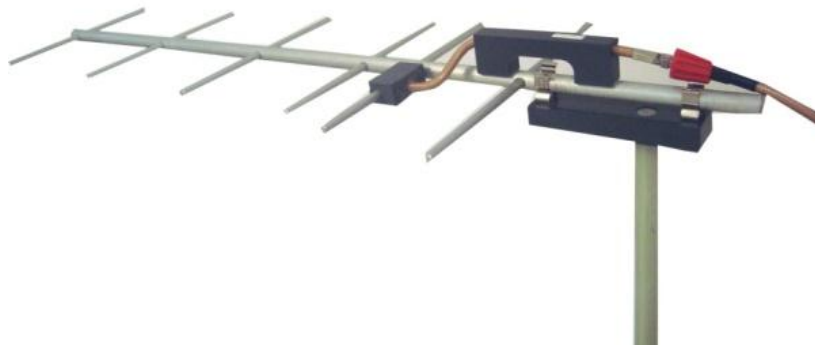


Figura 1.1.2 Antena Yagi polarizada horizontalmente

D. Calcule el largo del dipolo de $\lambda/2$; tenga en cuenta que la frecuencia exacta del generador RF es de 915 MHz :

$$\lambda = c/f \quad c = \text{velocidad de la luz}, f = \text{frecuencia}$$

$$\lambda = \text{_____} m \text{ luego } \lambda/2 = \text{_____} m$$

Para calcular correctamente la longitud de la antena, se debe considerar la desadaptación de la impedancia debida a la presencia del Balún y el efecto en los extremos, por esta razón se debe reducir la longitud de la antena, en este caso a una longitud de 0.45λ ; en vez de 0.5λ :

$$0.45 \lambda = \text{_____}$$

Con los valores obtenidos, seleccione las varillas correspondientes y haga el montaje de acuerdo a la Figura 1.1.3

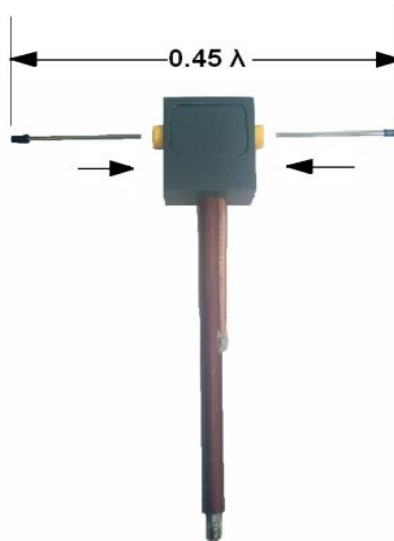


Figura 1.1.3, Antena dipolo de 0.45λ

E. Coloque el mástil para antena con clips verticales en el orientador de antena, ajústela en los clips verificando que esta quede alineada con el

centro de rotación del orientador de antena y conecte el cable tipo SMA corto tal como se muestra en la gráfica 1.1.4.

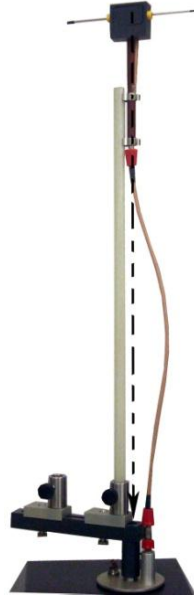


Figura 1.1.4, Antena receptora polarizada horizontalmente.

F. Separe las antenas transmisora y receptora de tal manera que estén a una distancia de $r = 1$ metro, asegúrese de que estén ajustadas y alineadas a la misma altura como se muestra en la Figura 1.1.5. Verifique que en el generador RF los botones de potencia del oscilador de 1 y 10 GHz estén en la forma de NO EMITE y que el cable tipo SMA largo, esté conectado de la antena transmisora al generador RF en la posición de 1 GHz.

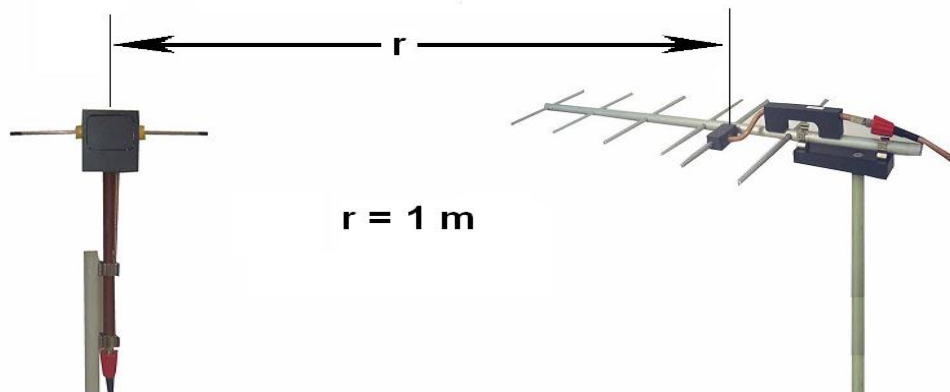


Figura 1.1.5 Separación de antenas

- G.** Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.
- H.** Conecte el generador RF y la fuente de alimentación de la Interfaz para la adquisición de datos a la AC comercial y enciéndalos.
- I.** En el generador RF, coloque el interruptor potencia RF del lado del oscilador de 1GHz en la posición EMITE. Con el control de atenuación del software, atenúe la señal hasta que esta presente un nivel aproximado de -3 dB.
- J.** Dé comienzo a la primera adquisición; esta quedará completa cuando la antena gire 360°. Ponga el interruptor RF del lado del oscilador de 1GHz en la posición NO EMITE.
- K.** Guarde el diagrama de radiación capturado como plano E , como un nuevo documento (document1) verifique que la PMS quede en 0°
- L.** Gire la antena transmisora 90° de tal manera que quede polarizada verticalmente (Figura 1.1.6); no mueva la antena receptora. Coloque el interruptor potencia RF del lado del oscilador de 1GHz en la posición EMITE e inicie una nueva adquisición sin cambiar el valor de atenuación.



Figura 1.1.6, Antena Yagi polarizada verticalmente

- M.** Una vez terminada la adquisición, ponga el interruptor potencia RF del lado del oscilador de 1GHz en la posición NO EMITE; almacene el diagrama como plano E en un nuevo documento (document2).

N. Desmonté y cambié el mástil de la antena receptora por uno de clips horizontales. Coloqué la antena receptora de forma que quede polarizada verticalmente (como lo indique la figura 1.1.7), cambie el cable tipo SMA corto por el mediano.

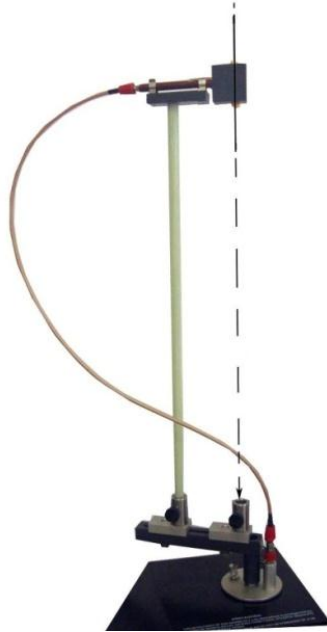


Figura 1.1.7, Antena dipolo (receptora) polarizada verticalmente

O. Mantenga los niveles de atenuación, repita el procedimiento y efectúe una nueva adquisición, guardando el diagrama como plano H en document1.

Orienté el diagrama de manera tal que la PMS este en 0° . Observé los diagramas radiación en 3D.

P. Mantenga los niveles de atenuación, oriente las antenas TX y RX de tal manera que queden polarizadas horizontalmente; separé las antenas una distancia $r = 1.25$ m, y repita los pasos descritos anteriormente para efectuar la captura del diagrama de radiación en el plano E. Almacénelo en un nuevo documento como (document3) plano E.

Preguntas:

✓ ¿Le parece correcto el resultado obtenido en la adquisición de acuerdo al punto M (diagrama como plano E (document2)) ?. Justifique su respuesta.

✓ ¿Los diagramas de radiación obtenidos y guardados en los Documet1 plano E y Document3 plano E tienen la misma forma? ¿En qué se diferencian? Justifique su respuesta.

Q. Apertura del haz de potencia mitad

Haciendo clic en el botón Cursor de la barra de herramientas, aparecen dos líneas (Cursores) ,una a cada lado del punto de 0^0 del diagrama de radiación; estos cursores están localizados en el punto donde el software localizó los puntos de anchura del haz de potencia mitad. Así mismo los valores correspondientes en dB aparecen en la caja del administrador de archivos. Estos valores corresponden a la diferencia entre el valor máximo del diagrama de radiación y el punto donde el cursor corta el diagrama en el plano E; en la parte superior derecha del diagrama de radiación cuando se visualiza en 2D aparecen las posiciones de los cursores y la separación entre los mismos (en grados). Al desplazar cualquiera de los cursores, los valores en dB y la diferencia de ángulo se actualizan.

Algunas veces el AHPM dada por el software puede diferir un poco del valor exacto; manualmente podemos modificar la posición de los cursores para encontrar la AHPM correcta. Ésta se calcula con la siguiente ecuación, si los cursores aparecen a cada lado del punto de 0^0 .

$$AHPM = (\theta_{AHPM \text{ izp}} - (\theta_{AHPM \text{ der}} + 360))$$

✓ Mueva, si es necesario, el diagrama de radiación para que el PMS este en 0^0 . Dé clic en el botón cursor de la barra de herramientas, seleccione el diagrama de radiación del plano E del documento1 y mueva cada uno de los cursores hasta

ubicarlos en aproximadamente -3dB, por debajo del NMS dB, anote los valores hallados en la tabla 1.1.1

DOCUMENTO	NMS (dB)	CALCULO MANUAL					SOFTWARE
		CURSOR 1		CURSOR 2		Diferencia (AHPM)	AHPM
		Angulo	Nivel	Angulo	Nivel		
DOCUMENT1							
DOCUMENT2							
DOCUMENT3							

Tabla 1.1 Calculo manual de AHPM

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.1 PRÁCTICA N° 2

Guía de ondas abierta en 10 GHz

Objetivo general

Al terminar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con el diagrama de radiación de una abertura rectangular uniforme en una frecuencia de 10GHz, en los planos E y H.

Objetivos específicos

- Familiarizar al estudiante con el uso de las antenas guía de ondas, especialmente la antena de bocina y la guía de ondas rectangular abierta en un extremo.
- Aprender a instalar los distintos componentes y, al mismo tiempo, observara el efecto de una pobre alineación de dos guías de onda.
- Trazar el diagrama de radiación de una antena guía de ondas abierta en un extremo y calcular la anchura del haz de potencia mitad de sus planos E y H.
- Calcular la directividad y superficie equivalente de una antena guía de ondas abierta en un extremo.

Fundamento teórico

Antena de abertura

Es un tipo de antena que tiene una abertura, la cual es atravesada por el campo electromagnético. Una guía de ondas rectangular abierta es un ejemplo de antena

de abertura tal como se muestra en la Figura 2.1.

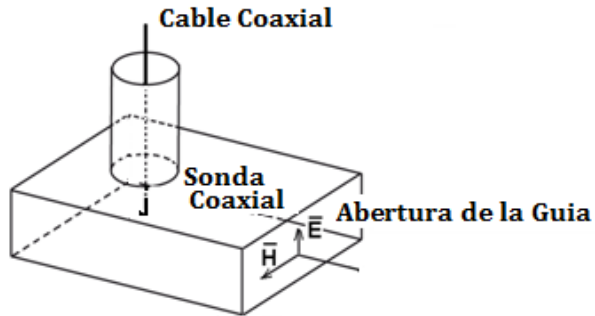


Figura 2.1 Guía de ondas abierta como radiador

El diagrama de radiación completo de una guía de ondas abierta corresponde a la combinación de funciones en los planos E y H.

Definiciones importantes para la Guía de ondas abierta

- P_0 Potencia suministrada a una antena Tx (vatios)
- P_{rad} Potencia radiada por la antena Tx (vatios)
- η Rendimiento $\eta = P_{rad} / P_0$ (sin unidad)

La mayoría de antenas presentan un rendimiento de radiación cercano a 1 (100%), sin embargo las antenas filiformes poseen un rendimiento relativamente bajo.

- **(Φ) Intensidad de radiación** (Unidades = vatios por estereorradián): Un estereorradián (sr) es una unidad de ángulo solido y una esfera contiene 4π estereorradianes. Por consiguiente la intensidad promedio de radiación se puede definir como:

$$\Phi_{prom} = \frac{P_{rad}}{4\pi} \text{ W/sr}$$

- **(D) Directividad** (sin unidades): Es el cociente entre la intensidad de radiación máxima de determinada dirección, y la intensidad de radiación promedio de una antena isotrópica que transmite la misma potencia total

$$D = \frac{\Phi_{max}}{\Phi_{prom}} = \frac{\Phi_{max}}{\frac{P_{rad}}{4\pi}}$$

- **(G) Ganancia de la antena o ganancia directiva** (sin unidades): En una antena sin pérdida, su ganancia o ganancia directiva, es igual a la directividad, sin embargo, para una antena cuyo rendimiento η es menor que 1 (100%), esa igualdad no se cumple y en consecuencia

$$G = \eta D$$

- **(Ω_a)** Es el ángulo sólido necesario para que la potencia P_{rad} , resulte radiada con el nivel de intensidad de radiación máxima Φ_{max} , por lo tanto otra forma de definir la directividad es:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_a}$$

- **(A_e)** Superficie o abertura equivalente (m^2): Es el área efectiva de absorción de una antena a una onda incidente plana. Para una antena de abertura esa superficie, es igual o un poco más pequeña que la abertura física; la relación entre la ganancia y la longitud de onda es (λ y A_e con iguales unidades)

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e$$

- **(η_{ap})** Rendimiento de la abertura o de la antena de abertura (sin unidades): η_{ap} Es la relación entre la superficie equivalente A_e y el área física de la abertura de la antena; usualmente se emplea el 50% como rendimiento de la antena de abertura.

$$\eta_{ap} = \frac{A_e}{A_p} ; A_p = \text{area física}$$

- **(A/P)** Relación Anterior Posterior: Es la relación que compara la potencia de la señal en la dirección de Tx o de RX deseada con la potencia de la señal en la dirección opuesta. Cuando la antena opera como receptora, esta relación indica la capacidad de la antena para diferenciar entre la señal recepcionada por su parte delantera, y las señales de interferencia que llegan a su parte trasera.

$$A/P = \text{lóbulo principal (dB)} - \text{lóbulo posterior (dB)}$$

Cuanto mayor sea el resultado de esta relación mejor será la relación A/P.

Procedimiento

Guía de ondas abierta en 10ghz

A. Materiales:

- Generador de RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antena de abertura de bocina grande
- Guía de ondas abierta en 10 GHz
- Mástil para antena con anillo de bloqueo
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 2.2

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

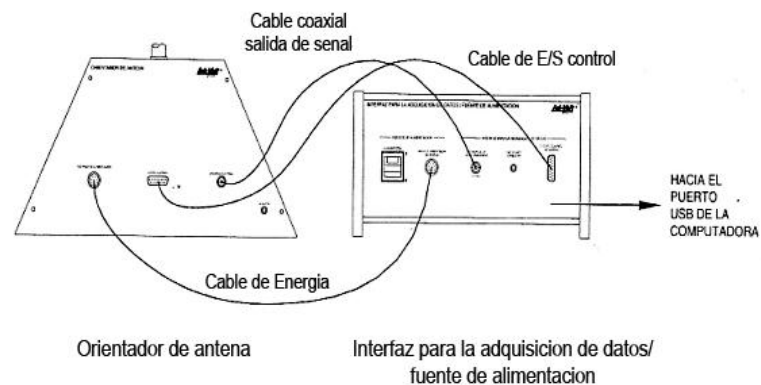


Figura 2.2 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monte la antena de bocina de abertura grande en el mástil de TX , de tal manera que quede orientada con polarización horizontal (Figura 2.3). Conecté el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección *oscilador 10GHZ* del Generador RF y luego conéctelo a la antena.



Figura 2.3 Antena TX polarizada horizontalmente

D. Fijé el otro mástil en el *soporte deslizante del orientador de antena* mediante el anillo de sujeción. Conecté la *guía de ondas abierta* en un extremo con el adaptador de guía de ondas a cable coaxial. '*En esta primera experiencia se creara una discontinuidad en la unión de la guía de ondas*'. Para lograrlo, conecté las dos piezas de manera que las secciones más grandes de sus aberturas queden *perpendiculares* entre sí, como se puede observar en la Figura 2.4. (alineé los agujeros de los componentes que se deben acoplar juntos y no de importancia al mal ajuste entre las dos aletas y acóplelas con los dispositivos de cierre rápido).



Figura 2.4 Discontinuidad en la unión de la guía de ondas

E. Monte la antena guía de ondas abierta en el mástil tal como se indica en la Figura 2.5 (observe bien la Figura).

Conecte el cable tipo SMA mediano, para unir la antena receptora con la entrada RF, ubicada en la parte superior del orientador de la antena.



Figura 2.5 Guía de onda abierta

Asegúrese de que la guía de ondas abierta en un extremo está alineada con el centro de rotación del *orientador de la antena*.

F. Separé las antenas una distancia $r = 1\text{m}$, tal como se indica en la Figura 2.6, ajústelas de manera tal que queden alineadas y enfrentadas a la misma altura.

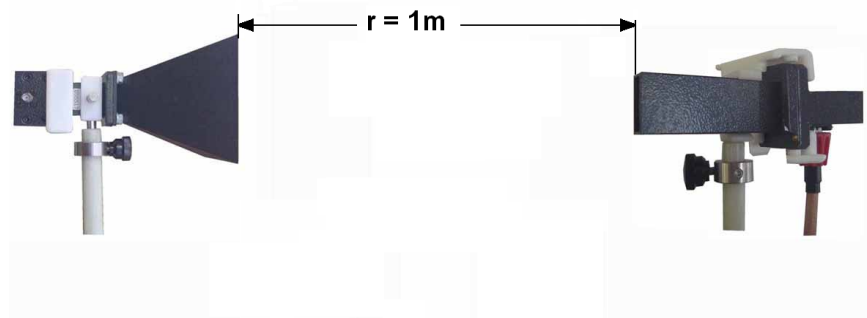


Figura 2.6 Ubicación y distancia r entre las antenas

G. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	10GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

H. Coloque el interruptor POTENCIA RF en la parte del OSCILADOR 10 GHz del generador RF en la posición EMITE.

I. Ajusté el nivel de atenuación en 0dB.



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

J. Inicie la primera adquisición. Después de completarla coloque el interruptor POTENCIA RF del generador RF en la posición NO EMITE. Almacene el diagrama de radiación como plano E en un nuevo documento (Document1); si es necesario agregue comentarios utilizando el cuadro de resumen de información para identificar el diagrama.

Oriente el diagrama de radiación adquirido de tal manera que la PMS quede en 0°. (Posición máxima de la señal). Para orientar los diagramas de radiación a una posición de 0°, haga clic en uno de los diagramas para seleccionarlo. El diagrama seleccionado se visualizara en negrilla; haga clic con el botón derecho del ratón. En el menú emergente que aparece seleccione el comando **Ajuste de la posición MNS**.

El cuadro de dialogo **Ajuste de la posición MNS**, permite mover la PMS del diagrama de radiación; el primer campo, muestra la posición del máximo y el segundo siempre esta ajustado a cero por defecto.

K. Retiré la antena Rx . Cambie de posición el acoplamiento (figura 2.4) , corrigiendo las ranuras para que cacen perfectamente como es correcto, a fin de

lograr la continuidad en la unión de ambos componentes. Monte la antena de nuevo en el mástil, tal como se puede observar en la Figura 2.7 (observe bien la Figura)

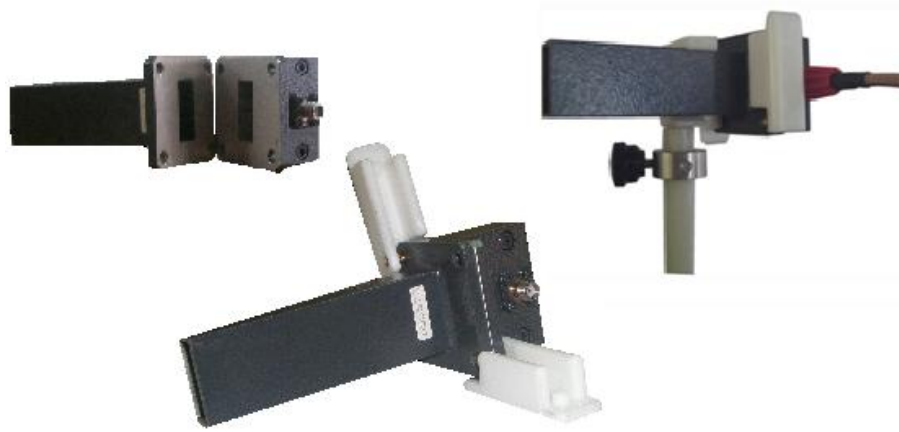


Figura 2.7 Antena guía de ondas abierta polarizada horizontalmente
(Continuidad en la unión de ambos componentes)

L. Orienté las antenas y verifique que estén separadas un metro (ambas antenas quedan con polarización horizontal). Tal como se muestra en la Figura 2.8

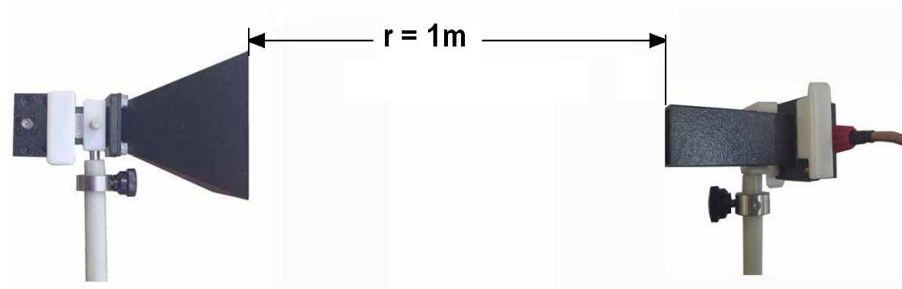


Figura 2.8 Antena guía de ondas abierta polarizada horizontalmente

M. Coloqué el interruptor de potencia RF de la sesión oscilador 10 GHz del generador RF en la posición EMITE. Ajuste el nivel de la señal a un valor aproximado de -3dB, para esto utilice el atenuador de señal del software.

N. Realicé una nueva adquisición y almacénela en un nuevo documento (Document2) como plano E. Mueva el diagrama de radiación si es necesario para que la PMS quede en 0° .

O. Separé las antenas una distancia $r = 1.5\text{m}$, verifique que queden enfrentadas y a la misma altura. Optimice el valor de atenuación, oriéntelas según el plano E y realice una nueva adquisición; guárdela en un nuevo documento (Document3).
Figura 2.9

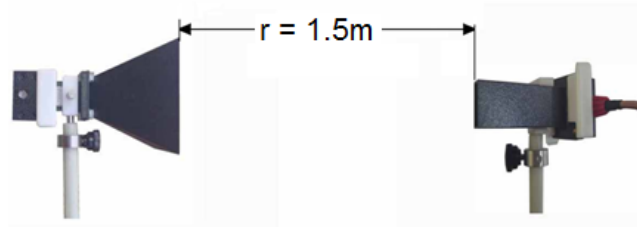


Figura 2.9 Antena guía de ondas abierta, enfrentadas 1.5 metros de distancia y a la misma altura.

P. Coloqué el interruptor POTENCIA RF de la posición OSCILADOR 10 GHz del generador RF en el estado NO EMITE. Desmonte cada una de las antenas y rótelas 90° , empleando para ello la segunda clavija del soporte plástico. Ahora ambas antenas están orientadas según el plano H (polarizadas verticalmente). Verifique la separación entre ellas $r = 1.5\text{m}$.

Q. Ahora coloque el interruptor POTENCIA RF de la posición OSCILADOR 10 GHz del generador RF en el estado EMITE, no modifique el valor de atenuación. Inicie una nueva adquisición, al terminar coloque el interruptor POTENCIA RF de la posición OSCILADOR 10 GHz del generador RF en el estado NO EMITE. Almacene el diagrama adquirido como plano H en Document3.

R. Teniendo los diagramas de radiación en los planos E y H de la antena, visualice los diagramas adquiridos seleccionando E-H y 3D usando las lengüetas respectivas en el software.

AHPM, directividad y superficie equivalente:

S. Seleccioné el diagrama de radiación adquirido y utilice los cursores para calcular la AHPM en los planos E y H

AHPM plano E = _____° AHPM plano H = _____°

Utilice las siguientes ecuaciones para calcular la directividad de esta antena:

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_a} = \frac{\frac{360^2}{\pi}}{AHPM_E \cdot AHPM_H} \quad D = \underline{\hspace{2cm}}$$

Si tenemos en cuenta que la directividad de una antena guía de ondas abierta, es relativamente baja debido a sus lóbulos laterales. La podemos calcular usando la siguiente fórmula:

$$D = \frac{\frac{2(360)^2}{\pi^2}}{A_{HPM_E} \cdot A_{HPM_H}} = \frac{26000}{A_{HPM_E} \cdot A_{HPM_H}}$$

$$D = \underline{\hspace{2cm}}$$

Si se sabe que una guía de ondas abierta en un extremo tiene un rendimiento η cercano a uno (1), y tenemos una frecuencia de Tx de 10.5 GHz. Calcule la superficie equivalente A_e utilizando las siguientes ecuaciones:

$$G_a = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_e$$

Por lo tanto $A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} G_a$ y $G = \eta D$

Entonces $A_e = \frac{\lambda^2}{4\pi} \eta D = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$ con $n \pm 1$

El rendimiento de la abertura A_e se puede comparar con el rendimiento de la abertura física de la antena A_p , para lo cual se puede emplear el rendimiento de la abertura, η_{ap}

$$\eta_{ap} = \frac{A_e}{A_p}$$

$A_p = A \times B$ Donde A y B son el ancho y el alto, respectivamente, de la guía de ondas abierta en un extremo (medidas interiores), en metros.

$$A_p = \underline{\hspace{2cm}} \text{ m}^2$$

Por lo tanto, el rendimiento de la abertura η_{ap} .

$$\eta_{ap} = \underline{\hspace{2cm}}$$

El rendimiento de la abertura de una antena siempre se encuentra entre 0 y 1. Para este caso debería aproximarse a 1. Probablemente el resultado obtenido exceda ese valor. Para explicar este valor recurra a la siguiente ecuación:

$$D = \frac{26000}{AHPM_E \cdot AHPM_H}$$

La aproximación dada por esta ecuación se debe utilizar para las antenas de haz estrecho, que como puede verse en los diagramas de radiación obtenidos, no es el caso para la antena de guía de ondas rectangular abierta en un extremo.

La ganancia de este tipo de antenas abiertas se puede evaluar mejor en forma experimental.

Preguntas:

✓ Observe y compare los diagramas de radiación obtenidos y guardados en Document1 y Document2 para el plano E.

¿Se esperaba este resultado? Explique la diferencia.

✓ En los puntos O, P, Q y R se adquirieron los diagramas de radiación para los planos E y H. Explique lo observado.

✓ ¿Se puede decir que la relación anterior / posterior en una antena guía de ondas abierta es buena? Explique

✓ Para una antena sin pérdidas, la ganancia y la directividad. ¿Son iguales?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.3 PRÁCTICA N° 3

Antenas de Bocina Piramidales

Objetivo general

- Al completar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con las antenas de bocina piramidales, sus principales características y las diferentes técnicas empleadas para calcular y medir su ganancia.

Objetivos específicos

- Aprender y demostrar cómo se calcula la ganancia verdadera de una antena de bocina piramidal y compararla con la teórica
- Practicar con antenas de bocina piramidal, conocer sus características y los métodos para calcular su ganancia.
- Comprobar como una señal se reduce unos 6dB cada vez que se duplica la distancia a través de su fuente de Tx.

Fundamento teórico

Perdida de propagación en el espacio libre

La potencia recibida por una antena receptora decrece al aumentar la distancia a la que se encuentra de la antena Tx en el espacio libre. La señal recibida es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia de separación entre las dos antenas. La pérdida de potencia debida a la separación entre las antenas se denomina Pérdida de Propagación en el espacio libre (L_F), esta pérdida de propagación se puede determinar mediante la siguiente ecuación:

$$L_{F(dB)} = 10 \log \left(\frac{4\pi r}{\lambda} \right)^2 = 20 \log \frac{4\pi r}{\lambda}$$

Donde (r) es la distancia entre las dos antenas y (λ) es la longitud de onda en el espacio libre (unidades iguales que r)

Para una determinada longitud de onda λ , la L_F , solamente depende de la distancia entre las antenas. Si se conocen dos distancias r_1 y r_2 , fácilmente se puede calcular la atenuación de potencia recibida con respecto a esas dos distancias mediante la siguiente ecuación:

$$A_{dB} = 20 \log \frac{r_1}{r_2}$$

Donde A_{dB} Es la atenuación en dB.
 r_1 y r_2 Son la distancia menor y mayor respectivamente.

Medición de la ganancia de una antena de Bocina piramidal

El método más sencillo para determinar la ganancia de una antena, es el método de la antena de referencia, este método también es denominado método de comparación o de sustitución; consiste en comparar la ganancia de una antena de referencia P_{ref} con la potencia recibida por la antena en prueba P_{pru} . La ganancia de la antena en prueba se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$G_{pru} = \frac{P_{pru}}{P_{ref}} G_{ref}$$

La anterior ecuación se expresa en dB mediante la siguiente ecuación:

$$G_{prueba} = P_{prueba (dB)} - P_{ref (dB)} + G_{ref (dB)}$$

La antena de bocina piramidal, se usa como antena de referencia para calcular la ganancia de otras antenas debido a que su ganancia se puede calcular partiendo de sus dimensiones físicas, pero antes de emplear el método de sustitución se debe calibrar la antena de referencia.

Un medio para lograrlo consiste en utilizar dos antenas idénticas, una vez medidas las potencias transmitida y recibida, la ganancia se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{Rec}}{P_o}}$$

Donde G Es la ganancia

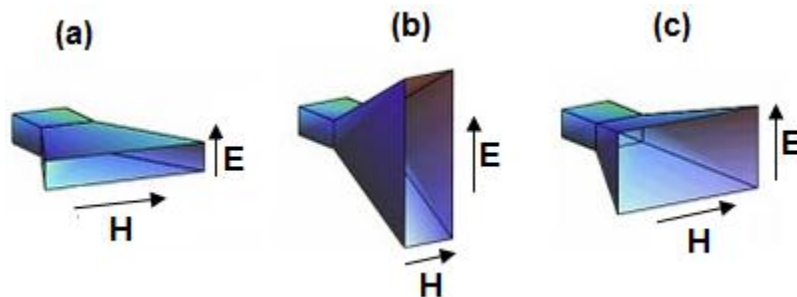
r Es la distancia entre las antenas

P_{Rec} y P_o Son las potencias recibida y transmitida, respectivamente.

λ Es la longitud de onda en el espacio libre (en unidades iguales a r)

Tipos de antenas de bocina

Una de las características de las antenas de bocina es su capacidad para proporcionar una transición uniforme para las ondas electromagnéticas, entre la guía de ondas y el espacio libre, las antenas de bocina se diseñan de distintas formas dependiendo de la ganancia, la impedancia y el diagrama de radiación que se desee. Una antena de bocina depende esencialmente de su forma. Las formas más comunes de este tipo de antenas son: la antena sectorial según el plano H, antena sectorial según el plano E y la antena de bocina piramidal. En la Figura 3.1 se pueden ver los tipos de antena de bocina más comunes.



(a) Antena de bocina sectorial según el plano H.

(b) Antena de bocina sectorial según el plano E.

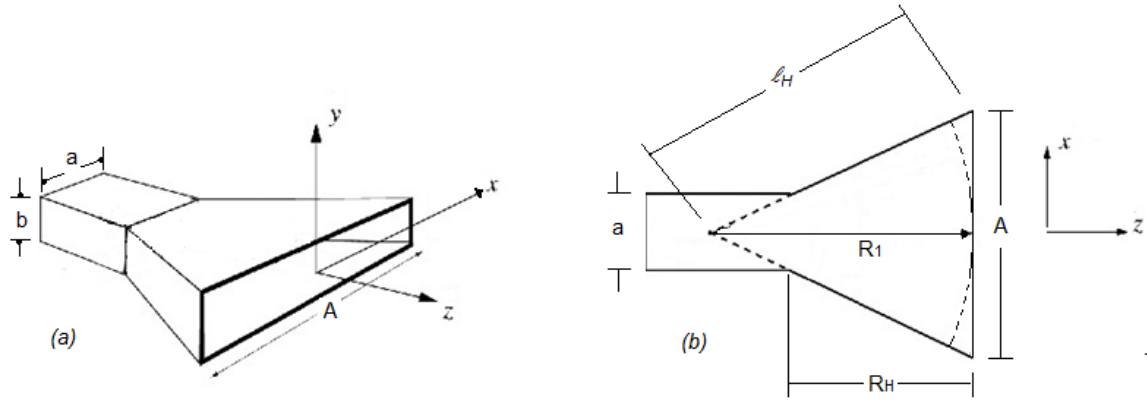
(c) Antena de bocina piramidal.

Figura 3.1 Antenas de bocina tipo guía de ondas rectangulares

La bocina de tipo piramidal es la más común dentro de las antenas de bocina, debido a que su ganancia se puede calcular exactamente a partir de sus dimensiones físicas, a diferencia de las bocinas sectoriales, que solo son acampadas en un solo plano. Por esta razón son casos especiales de bocinas piramidales.

Por lo tanto, el diagrama de plano E en una bocina piramidal, puede obtenerse de los diagramas universales de las bocinas sectoriales de plano E. Y para el diagrama plano H de una bocina piramidal, de los diagramas universales de los sectoriales plano H, esto quiere decir que la distribución de campo en una bocina piramidal es de tipo separable y coincide para cada plano principal con las propiedades de las bocinas sectoriales plano E y plano H.

Antenas de bocina sectorial en el plano H



(a) geometría, (b) sección transversal a través del plano H

Figura 3.2 Antena sectorial según el plano H

La bocina sectorial plano H, se alimenta desde una guía rectangular de dimensiones $a \times b$, siendo (a) la dimensión de la cara ancha. La apertura tiene un ancho de A en el plano H y una (b) en el plano E.

Las siguientes ecuaciones se aplican a las dimensiones físicas:

$$(1) \quad \ell_H^2 = R_1^2 + \left(\frac{A}{2}\right)^2$$

$$(2) \quad R_1 = A \sqrt{\left(\frac{\ell_H}{A}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

$$(3) \quad \frac{A}{R_1} = \frac{A-a}{R_H}$$

$$(4) \quad R_H = (A - a) \frac{R_1}{A}$$

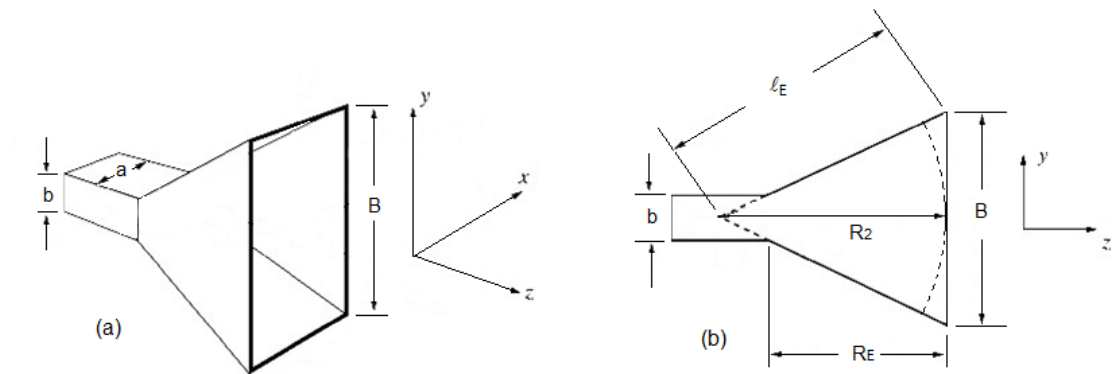
Remplazando R1 en la ecuación 2.

$$(5) \quad R_H = (A - a) \sqrt{\left(\frac{\ell_H}{A}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

Y se puede demostrar, que para una bocina óptima, es decir, una bocina que tenga la ganancia máxima para sus dimensiones

$$(6) \quad A = \sqrt{3\lambda R_1}$$

Antenas de bocina sectorial en el plano E



(a) geometría ,(b)sección transversal a través del plano E

Figura 3.3 Antena sectorial en el plano E

La bocina sectorial plano E, se forma ensanchando este modelo en el plano E, como se observa en la Figura 3.3. Esta se alimenta desde una guía rectangular de dimensiones $a \times b$, donde en este caso la apertura tiene un ancho de B en el plano E y una (a) en el plano H.

Las siguientes ecuaciones se aplican a las dimensiones físicas:

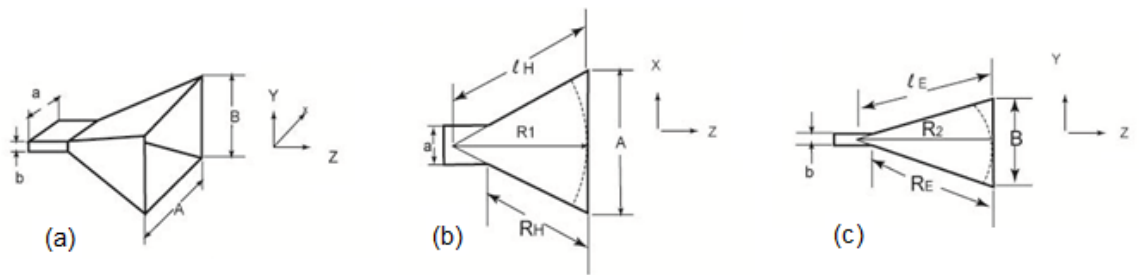
$$(7) \quad \ell_E^2 = R_2^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2$$

$$(8) \quad R_E = (B - b) \sqrt{\left(\frac{\ell_E}{B}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

Para una bocina óptima, es decir, una bocina que tenga la ganancia máxima para sus dimensiones.

$$(9) \quad B = \sqrt{2\lambda R_2}$$

Antenas de bocina piramidal



(a) Geometría, (b) Sección transversal plano H, (c) Sección transversal plano E

Figura 3.4 Antena de bocina piramidal

En la Figura anterior se puede ver la antena de bocina piramidal para guía de onda rectangular, así como sus principales medidas a partir de las cuales se

calcula su ganancia, como se puede observar esta se ensancha tanto en el plano E como en el H.

En este tipo de antenas, si el ángulo de abertura de la parte acampanada es muy pequeño, solo será importante el modo dominante de la guía de ondas, para el cálculo de la ganancia.

Para una antena de bocina sectorial, las líneas de campo del modo dominante se expandirían dentro de un espacio cilíndrico, mientras que para una antena de bocina piramidal, las líneas de campo del modo dominante se expandirán en el interior de un espacio esférico como se observa en la Figura 3.5

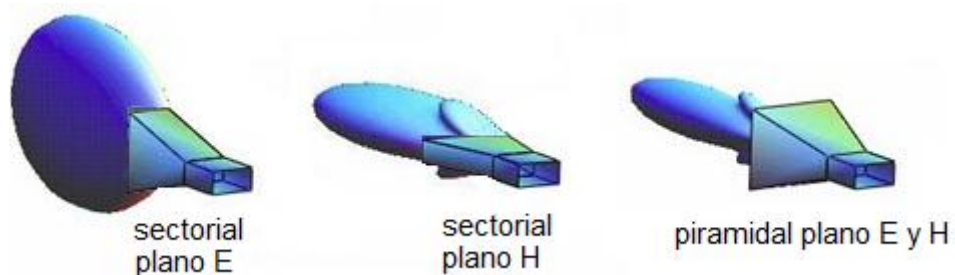


Figura 3.5 Líneas de campo del modo dominante, bocina sectorial plano E y sectorial plano H, bocina piramidal.

Sabiendo esto se puede observar que en una antena piramidal, el frente de onda no es plano sino curvado. Tal como se presenta en la Figura 3.6.

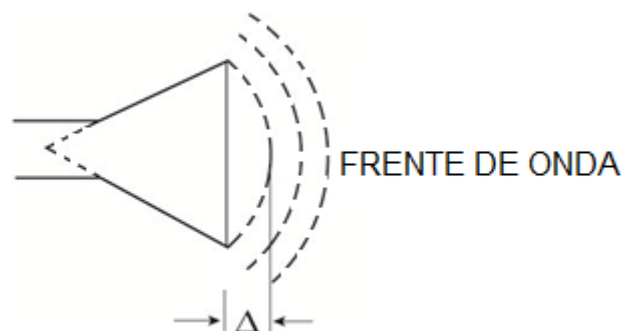


Figura 3.6 Error de fase (Δ), ocasionado por la curvatura del frente de onda

Esto origina errores de fase, los cuales se describen por medio de los errores de trayectoria normalizados s y t . Y se calculan mediante las siguientes ecuaciones:

$$s = \frac{\Delta_E}{\lambda} = \frac{B^2}{8\lambda l_E}$$

$$t = \frac{\Delta_H}{\lambda} = \frac{A^2}{8\lambda l_H}$$

Donde s y t son los errores de trayectoria normalizados, A , B , l_E , l_H son las dimensiones de la bocina, y λ es la longitud de onda (ver Figura 3.4)

La ganancia de una bocina piramidal se puede calcular en forma aproximada mediante la siguiente ecuación.

$$G = \frac{32}{\pi} \left(\frac{A}{\lambda}\right) \left(\frac{B}{\lambda}\right) l_E l_H$$

Donde l_E l_H Representan las pérdidas ocasionadas por el error de fase debido a la forma acampanada

La ganancia expresada en dB se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$G_{dB} = 10.08 + 10 \log_{10} \left[\left(\frac{A}{\lambda}\right) \left(\frac{B}{\lambda}\right) \right] - l_{E(dB)} - l_{H(dB)}$$

Para saber los valores de $l_{E(dB)}$ y $l_{H(dB)}$ Se debe primero hallar s y t , luego los valores de error resultante de s y t , se usan para encontrar los valores de $l_{E(dB)}$ y $l_{H(dB)}$ en la Figura 3.7

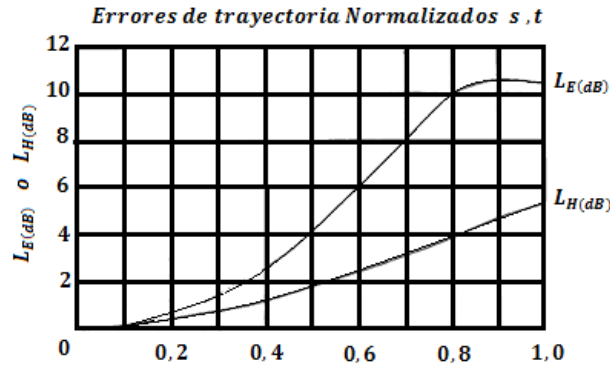


Figura 3.7 Factores de pérdidas $l_{E(dB)}$ y $l_{H(dB)}$ debidos a la forma acampanada en los planos E y H de la antena de bocina piramidal.

Procedimiento:

A. Materiales:

- Generador de RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antenas de bocina (grande y pequeña)
- Mástil para antena con anillo de bloqueo
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador
- Cinta métrica (3 metros)

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 3.8

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

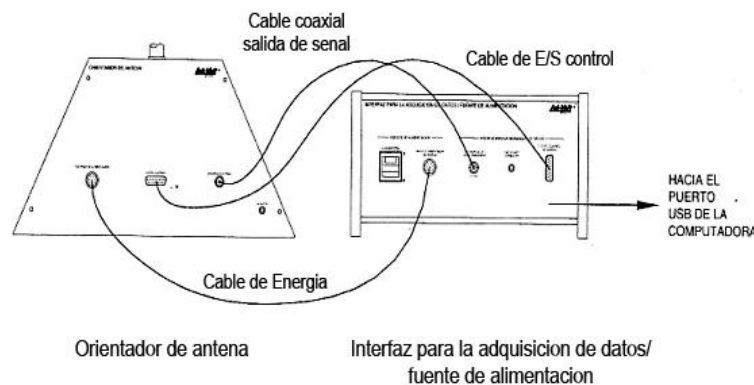


Figura 3.8 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté la antena de bocina de abertura grande en el soporte deslizante del ORIENTADOR DE ANTENA, de tal manera que quede orientada con polarización en el plano H, tal como se muestra en la Figura 3.9. Conecté la antena receptora a la entrada RF, ubicada en la parte superior del orientador de antena, empleando el cable tipo SMA mediano.

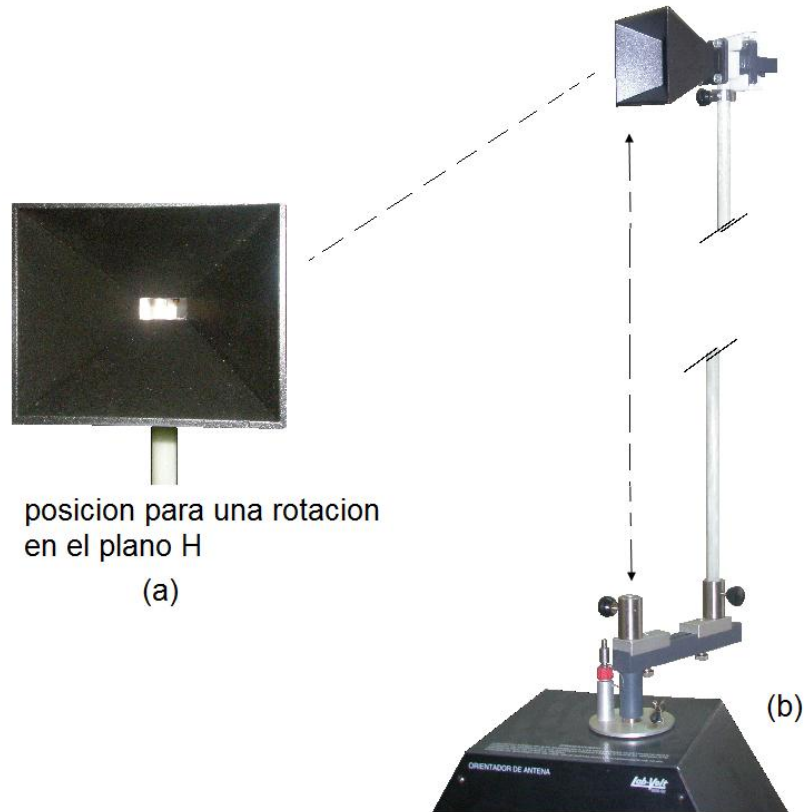


Figura 3.9 (a) polarización plano H, (b) montaje de la antena receptora

Utilice el soporte deslizante como se observa en la Figura 3.9, para asegurarse de que la abertura de la antena este alineada con el centro de rotación del ORIENTADOR DE LA ANTENA.

D. Instalé la otra antena de abertura grande en el soporte de transmisión mediante el anillo de bloqueo, utilice el portaguía de plástico para orientar la antena en el plano H. (ver Figura 3.9 (a)), en el mástil de Tx. Conecté el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección *oscilador 10GHZ* del Generador RF, luego conecte la antena.

E. Separé las antenas a una distancia de $r=1.30\text{cm}$. Luego ajústelas para que estén a la misma altura y enfrentadas. Figura 3.10

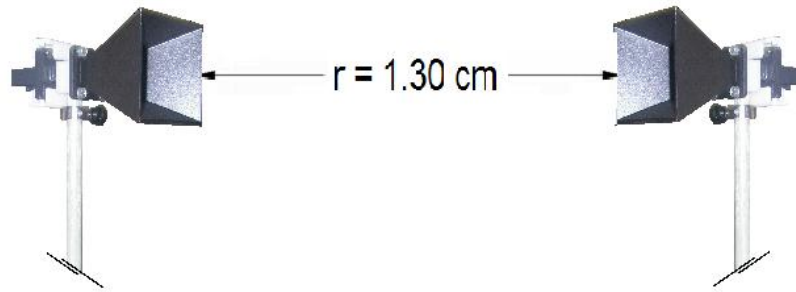


Figura 3.10 Antenas de abertura grande enfrentadas a una distancia $r=1.30\text{cm}$

F. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	10GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

G. **Perdida de propagación:** Sabiendo la distancia r_1 , entre las dos antenas, utilice la siguiente ecuación para calcular la atenuación de la potencia de la señal recibida, si las antenas se separan una distancia $r_2=2r_1$

$$A = 20 \log \frac{r_2}{r_1} (dB)$$

$$A = \text{_____}(dB)$$

H. Coloqué el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHz del generador RF en la posición EMITE.

I. Ajusté el nivel de atenuación en 0dB



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

J. Inicié la primera adquisición, después de completarla, coloque el interruptor POTENCIA RF del generador RF en la posición NO EMITE. Almacené el diagrama de radiación como plano H en un nuevo documento (Document1); si es necesario agregue comentarios utilizando el cuadro de resumen de información para identificar el diagrama.

K. Separé las antenas una distancia $r = 2.60\text{m}$. No modifique el nivel de atenuación.

L. Coloqué el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHz del generador RF en la posición EMITE.

M. Inicié una segunda adquisición y almacené este diagrama en un nuevo documento (Documento2).

AHPM, lóbulos laterales y ganancia:

N. Para este ejercicio las antenas aun siguen separadas y enfrentadas a una distancia $r=2.6\text{m}$ y orientadas según el plano H. Utilizando el control de atenuación optimice la recepción de la señal.

O. Realicé una nueva adquisición y almacénala en un nuevo documento (Documento3), asegúrese de elegir el plano correcto (E o H) y ajuste el PMS a 0° .

P. Cambié de posición las antenas, orientándolas según el plano E. para esto cambie de posición la portaguía de plástico rotándolas sobre sus laterales. No modifique r , y realice otra adquisición. Almacené este nuevo diagrama de radiación en el Documento3, como plano E. Ajusté el PMS a 0°

Utilizando las opciones E-H y 3D, observe la representación en el espacio de estos diagramas.

Q. Calculé la anchura del haz de potencia mitad en los planos E y H.

$$AHPM_E = \text{_____}^\circ$$

$$AHPM_H = \text{_____}^\circ$$

R. Calculé la ganancia de la antena de bocina piramidal de abertura grade en 10.5 GHz Sabiendo que esta tiene las siguientes dimensiones :

$$\ell_H = 11\text{cm} \quad \ell_E = 9.4\text{cm}$$

Tomé las siguientes medidas de la bocina piramidal:

$$A = \text{____}cm \quad B = \text{____}cm$$

Calculé la longitud de onda en 10.52 GHz, sabiendo que.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Donde } c \text{ es la velocidad de la luz y } f, \text{ frecuencia tx}$$

$$\lambda = \text{____}m \quad \lambda = \text{____}cm$$

Ahora podemos calcular s y t .

$$s = \frac{B^2}{8\lambda\ell_E} = \text{____}$$

Con el valor de (s) se obtiene de la Figura 3.7 $l_{E(dB)} = \text{____}$

$$t = \frac{A^2}{8\lambda\ell_H} = \text{____}$$

Con el valor de (t) se obtiene de la Figura 3.7 $l_{H(dB)} = \text{____}$

Entonces la ganancia de la antena de bocina piramidal estudiada es:

$$G_{dB} = 10.08 + 10 \log_{10} \left[\left(\frac{A}{\lambda} \right) \left(\frac{B}{\lambda} \right) \right] - l_{E(dB)} - l_{H(dB)}$$

$$G_{dB} = \text{____}(dB)$$

S. Teniendo el valor de la AHPM de la antena de bocina de abertura grande en los planos E y H, se puede calcular un valor aproximado para su verdadera ganancia, aplicando la formula ya vista en una práctica anterior:

$$D \approx G = \frac{26000}{AHPM_E \cdot AHPM_H}$$

$$G = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$G_{dB} = 10 \log G = \underline{\hspace{2cm}}(dB)$$

Preguntas:

✓ ¿Qué influencia tiene el ángulo de abertura de la parte acampanada de una antena de bocina piramidal sobre el modo de propagación?

✓ Compare las adquisiciones del Documento1 y Documento2 y explique. ¿cuál de los parámetros tiene mayor influencia sobre la perdida de propagación en el espacio libre?.

✓ ¿Cómo se define una bocina optima?

✓ ¿Cuáles son los parámetros que se deben tener en cuenta al calcular la ganancia de una antena de bocina piramidal?

✓ Se desea diseñar una antena de bocina sectorial plano E que sea optima y que funcione a una 10.52GHz. las medidas interiores de la guía de ondas son $a=2.4\text{cm}$ y $b=1\text{cm}$, con una profundidad interior $R_2=5\text{cm}$. ¿Cuál será el ancho de la abertura B , la profundidad externa R_E y el diámetro ℓ_E ?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.4 Práctica N° 4

Dipolos ($\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$)

Objetivo general

Al completar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con los dipolos de ($\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$), y sus principales características.

Objetivos específicos

- Practicar con antenas dipolo de $\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$, conocer sus diagramas de radiación.
- Calcular la anchura del haz de potencia mitad (AHPM).
- Determinar la región de campo lejano de una antena.
- Determinar como la impedancia del dipolo λ incide en su rendimiento.
- Hallar la Directividad de una antena dipolo $\lambda/2$.

Fundamento teórico

Resonancia de los Dipolos:

La distribución de corriente en una antena dipolo, no es uniforme a lo largo de los alambres, la corriente es cero en los extremos, y dependiendo de la longitud del dipolo y de la frecuencia generada en el transmisor, puede ser muy alta en el centro y en algunos puntos específicos de la antena. En la Figura 4.1 se muestra la distribución de corriente para dipolos de alimentación central de $\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$.

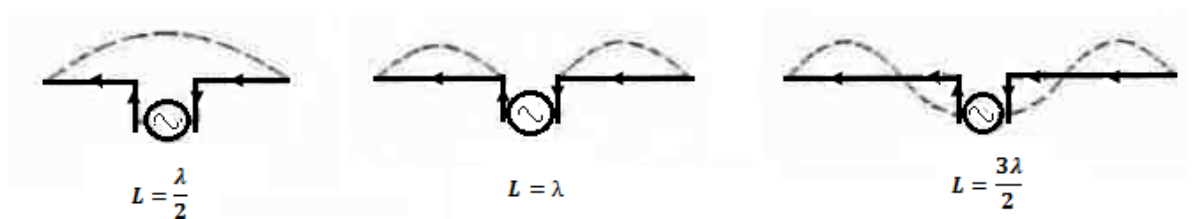


Figura 4.1 Las flechas representan la dirección de la corriente. La magnitud y polaridad de la corriente están representadas por las líneas sinusoidales.

A lo largo de una antena resonante se desarrollan ondas estacionarias de voltaje y corriente. La Figura 4.2 muestra las distribuciones idealizadas de corriente y voltaje a lo largo de un dipolo de media onda. En esta grafica se puede ver que hay un máximo de voltaje y un mínimo de corriente en los extremos, a diferencia de la parte media en la que ahí mínimo de voltaje y un máximo de corriente.

Por consiguiente sabiendo que el punto de alimentación está en el centro de la antena, la impedancia de entrada es E_{min}/I_{max} , tendría un valor mínimo comparado con la impedancia en los extremos de la antena es E_{max}/I_{min} , que tendría un valor máximo.

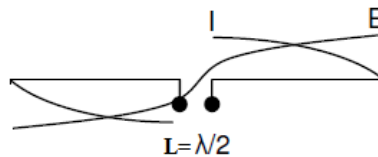


Figura 4.2 Distribución ideal de voltaje y de corriente a lo largo de un dipolo de media onda.

Impedancia de entrada

Un dipolo de $\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$, actúa como un elemento radiante, esto significa que la antena se presenta como un elemento resistivo con la corriente y el voltaje en fase. Por lo tanto la reactancia es baja, en la Figura 4.3 se muestra la resistencia de radiación, la resistencia de entrada y la directividad de antenas dipolo en función de su tamaño en longitud de onda. Podemos ver que para $\lambda/2$ y $3\lambda/2$ la resistencia de entrada es relativamente baja, mientras que para el dipolo de longitud λ la resistencia se presenta como infinita. En la práctica se encuentra que la antena esta radiando aunque la corriente de entrada es nula en los extremos, pero no es cero en los puntos de alimentación del dipolo.

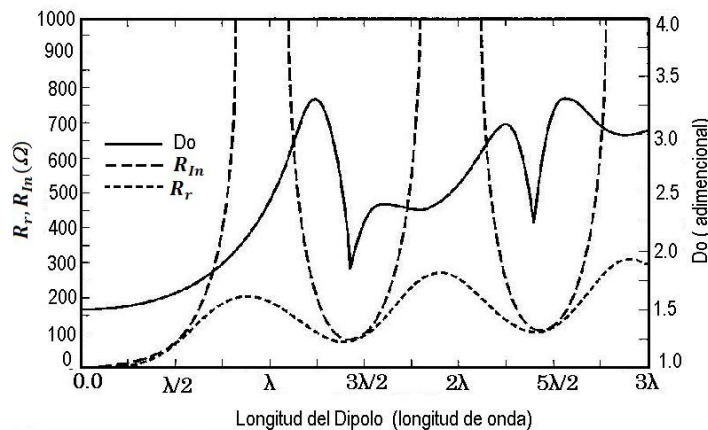


Figura 4.3 Distribución de corriente en dipolos con alimentación central

Fuente: BALANIS, Constantine A. Antenna Theory, Analysis and Design, 3th Ed. New Jersey, Wiley-Interscience, 2005, p.117

En la Figura 4.4, se muestra la curva de impedancia de un dipolo de media onda alimentado en el centro. La impedancia varía de un valor máximo en los extremos, de aproximadamente 2500Ω , hasta un mínimo en el punto de alimentación, de unos 73Ω , de los cuales, entre 68 y 70Ω es la resistencia de radiación.

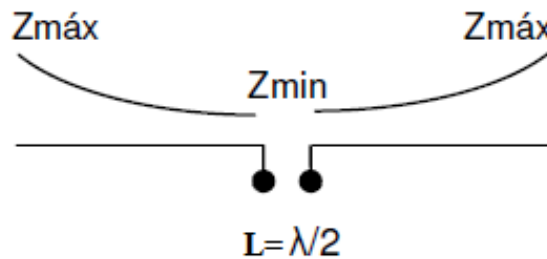


Figura 4.4 Curva de Impedancia para un dipolo de media onda con alimentación central

En la siguiente Figura se muestra la distribución de corrientes para dipolos $\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$, sus diagramas de radiación y sus principales características. Como son resistencia de radiación, su directividad y su AHPM.

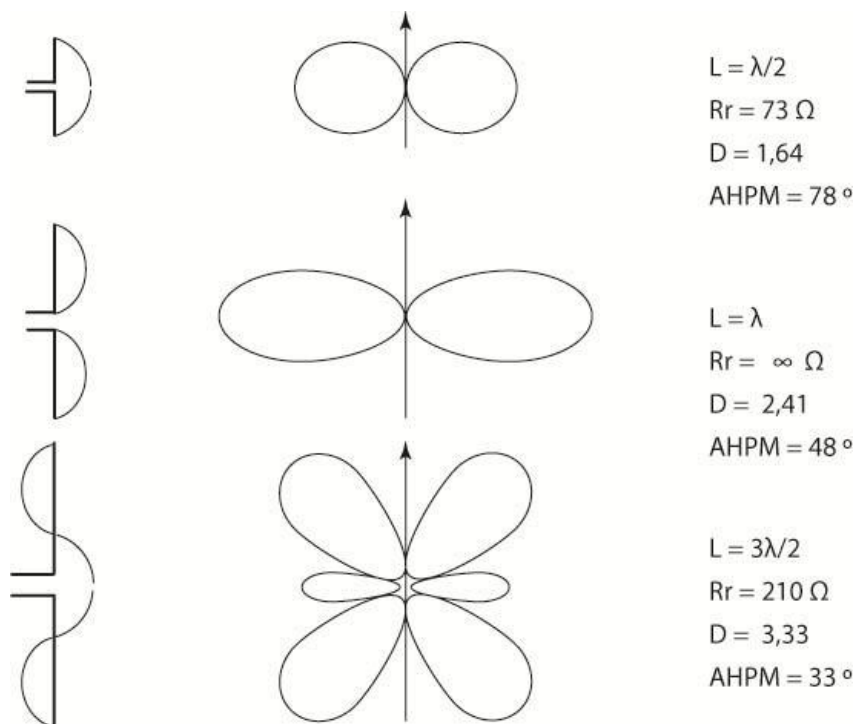


Figura 4.5 Parámetros de dipolos de diferentes longitudes de onda.

Fuente: <http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/sedes/manizales/4040050/Descargas/capseis/dipolosymonopolos.pdf>

Campos de una antena

El concepto de campos es importante en el estudio de las antenas, debido a que la radiación que se encuentra cerca de una antena no es igual al campo de radiación que se halla a gran distancia. El término campo cercano se refiere al patrón de campo que está cerca de la antena conocido también como (*campo Rayleigh*), y el término campo lejano se refiere al patrón de campo que está a gran distancia (*campo Fraunhofer*).

Durante la mitad del ciclo, parte de la potencia que se irradia desde una antena, se guarda temporalmente en el campo cercano y durante la segunda mitad del ciclo, la potencia que está en el campo cercano regresa a la antena. Esta acción es similar a la forma en que un inductor guarda y suelta energía. Por lo tanto, el campo cercano es conocido también como campo de inducción. En cambio la potencia que alcanza el campo lejano continúa irradiando lejos y nunca regresa a la antena. Por esta acción al campo lejano se le llama campo de radiación. La potencia de radiación, por lo general, es la más importante de las dos; por consiguiente, nunca se debe colocar las antenas en el campo Rayleigh (cercano) para realizar mediciones. En ciertos casos puede resultar aceptable colocarlas en el campo de Fresnel (ver Figura 4.6)

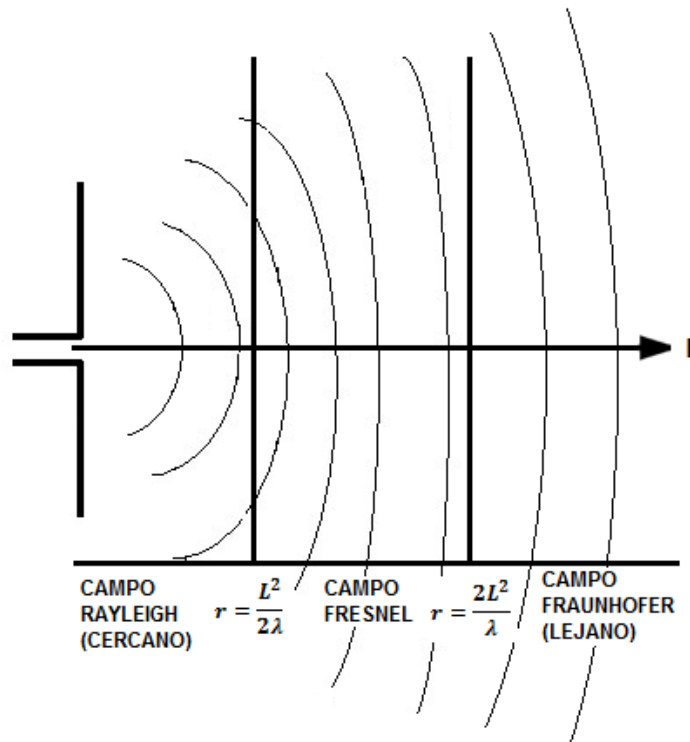


Figura 4.6 Regiones de los campos de una antena.

El campo lejano es la región donde $r > \frac{2L^2}{\lambda}$

Donde r, es la distancia de la antena y L, es la longitud de la antena. Esta es la región donde se deben colocar las antenas para el trazado del diagrama de radiación, o la realización de mediciones.

Si las antenas Tx y Rx tienen longitudes diferentes, la longitud de la antena más larga se debe utilizar como L, en la ecuación anterior.

Procedimiento:

A. Materiales:

- Generador de RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antena Yagi fija
- Mástil para antena con clips horizontales
- Mástil para antena con clips verticales
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Varillas para dipolo $\lambda/2$ y $3\lambda/2$ (calcular)
- Balún antena dipolo
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 4.7

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

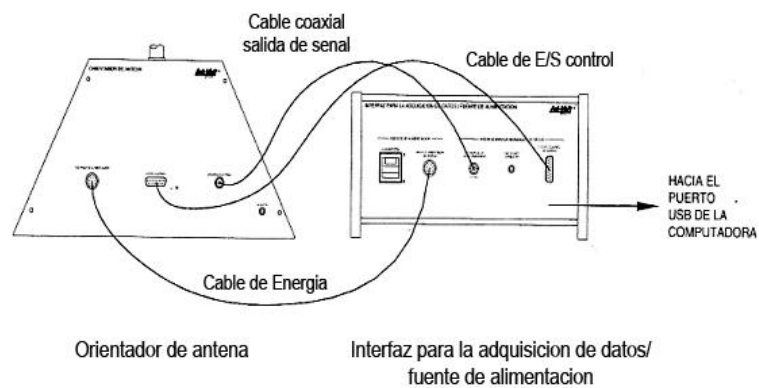


Figura 4.7 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté la antena Yagi en el mástil con clips horizontales, orientada para adquirir el diagrama de radiación en el plano E y conéctela en la posición OSCILADOR de 1 GHz, del generador RF, utilizando el cable tipo SMA mas largo. (Ver Figura 4.8)



Figura 4.8 Antena Yagi polarizada horizontalmente

D. Calculé la longitud de las varillas para $\lambda/2$, λ y $3\lambda/2$, utilizando las formulas:

$$\lambda = c/f$$

c= velocidad de la luz = 3×10^8 m.
f = frecuencia = 915 MHz

$$\lambda/2 = \text{_____} m$$

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

$$3\lambda/2 = \text{_____} m$$

E. Seleccioné un par de alambres del set de antenas para formar una antena dipolo de $\lambda/2$, insértelos en el conector hasta el fondo de los orificios. instalé el mástil de clips verticales en el orientador de antena y coloqué el dipolo orientándolo para una rotación según el plano E. (ver Figura 4.9). Tenga en cuenta lo siguiente, para una mejor aproximación.

Si queremos calcular correctamente la longitud del dipolo $\lambda/2$, se debe considerar tanto la relación del largo del conductor a su radio y el efecto en los extremos de las cargas en las puntas de los alambres, como también la desadaptación de la impedancia debida a la presencia del Balún, teniendo en cuenta estas consideraciones, se debe reducir teóricamente la longitud de la antena. En este caso, en vez de exactamente 0.5λ , se calcula a 0.45λ .

$$0.45\lambda = \text{_____} m$$

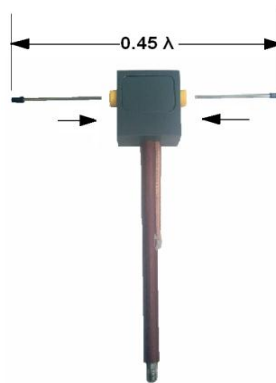


Figura 4.9. Montaje de un dipolo $\lambda/2$

F. Utilicé el soporte deslizante para asegurarse de que la antena está alineada con el centro de rotación del orientador de la antena. (ver Figura 4.10).

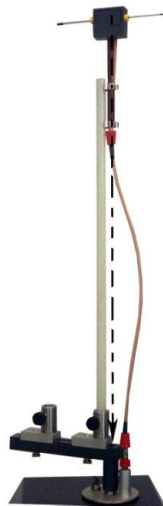


Figura 4.10 Montaje de la antena receptora

G. Conecté la antena en la entrada RF, que se encuentra en la parte superior del orientador de antena, utilizando el cable tipo SMA más corto como se observa en la Figura 4.10.

H. Separé las antenas entre sí una distancia $r = 1\text{m}$, verifique que las antenas queden enfrentadas y a la misma altura.

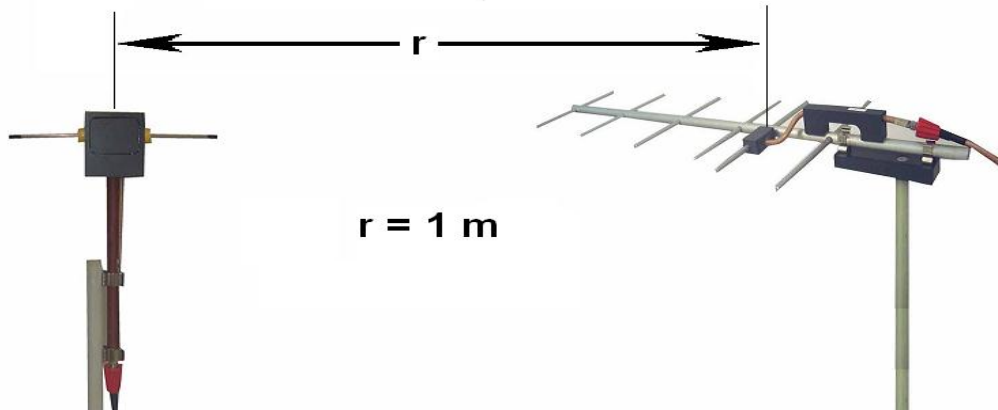


Figura 4.11 Antenas orientadas según el plano E con $r=1\text{m}$

I. Generador RF:

MODO DEL OSCILADOR	1GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

J. Coloqué el interruptor de POTENCIA RF del lado del oscilador de 1 GHz en la posición EMITE y optimice la recepción de la señal con el atenuador, aproximándola a un valor de -3dB.

Inicie una adquisición y almacene el diagrama como plano E en un nuevo Documento1.

K. Roté la antena Tx de tal manera que quede polarizada verticalmente. Retiré la antena Rx y reemplace el mástil de clips verticales por el de clips horizontales e instale la antena dipolo de tal manera que quede polarizada verticalmente, y asegurándose de que roten según el plano H, cambie el cable corto tipo SMA y reemplácelo por el mediano (ver Figura 4.12)



Figura 4.12 Antenas orientadas según el plano H

Inicié la captura del diagrama de radiación y guárdela como plano H en Documento1

Oriente los diagramas adquiridos de manera tal que sus PMS queden en 0°

L. Sin modificar el nivel de atenuación, repita los pasos anteriores y capture los diagramas de radiación según los planos E y H para el dipolo de λ y almacénelo como documento2

M. Completé la Tabla Numero 4.1

Antena	NMS
$\lambda/2$	
λ	

Tabla 4.1 Comparación NMS

N. Comparé los diagramas de radiación.

¿Cual tiene mayor ganancia? _____(NMS)

O. Cambié la antena dipolo saque los alambres del conector y reemplácelos por los alambre correspondientes a un dipolo $3\lambda/2$ y vuelva a instalarla.

Para este nuevo montaje se debe calcular la distancia necesaria para que el diagrama de radiación se encuentre dentro de la región del campo de lejano, debido a que el dipolo $3\lambda/2$ es más largo que la antena Yagi, y se calcula teniendo en cuenta la siguiente condición.

$$r > \frac{2L^2}{\lambda}$$

Entonces:

$$L = \frac{3\lambda}{2} = \text{_____}m$$

$$r > \frac{2L^2}{\lambda} > \text{_____}m$$

Separé las antenas una distancia (r+10 cm). Optimice la recepción de la señal y realice una nueva adquisición en los planos E y H del dipolo $3\lambda/2$ y almacénelos en un nuevo Docuemto3.

Observé que el nivel de la señal en el plano H debe igualar en nivel máximo de la señal de los dos lóbulos pequeños del plano E, sin embargo hay que tener en cuenta que el dipolo $3\lambda/2$ es muy sensible a las reflexiones del mástil y del cable coaxial, por lo que el diagrama de radiación en el plano H puede verse distorsionado y el nivel de la señal de los dos diagramas resulte diferente.

P. Calculé la AHPM de los diagramas adquiridos para los planos E y H, calcule la directividad para los dipolos de $\lambda/2$ λ . Compare los valores hallados con los valores teóricos; use la siguiente fórmula:

$$D = \frac{26000}{AHPM_E \cdot AHPM_H}$$

Complete la Tabla Numero 4.2

DIPOLO	SOFTWARE		CALCULADO		DIRECTIVIDAD TEORICA	DIRECTIVIDAD CALCULADA
	AHPM _E	AHPM _H	AHPM _E	AHPM _H		
$\lambda/2$						
Λ						

Tabla 4.2 Comparación características dipolo

Q. Recuerde que debido a que el diagrama de radiación en un dipolo $\lambda/2$ según el plano H es circular, puede suponer que la $AHMP_H = 180^\circ$.

Preguntas:

✓ ¿Entre los dipolos estudiados, desde el punto de vista de transmisión de señal, cuál de ellos ofrece mejor rendimiento? Explique.

✓ ¿La distancia de $r=1m$, se considera campo lejano para las antenas dipolo de $\lambda/2$ y λ ? si no es así, ¿Cual es la distancia mínima?

✓ Explique breve mente la relación entre la corriente, impedancia y longitud de un dipolo.

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.5 PRÁCTICA N° 5

Antenas de dipolo plegado $\lambda/2$ y Transformación de impedancia con Balunes

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con las características de la antena dipolo plegado de media onda y con el uso de los Balunes para la transformación de impedancias.

Objetivos específicos

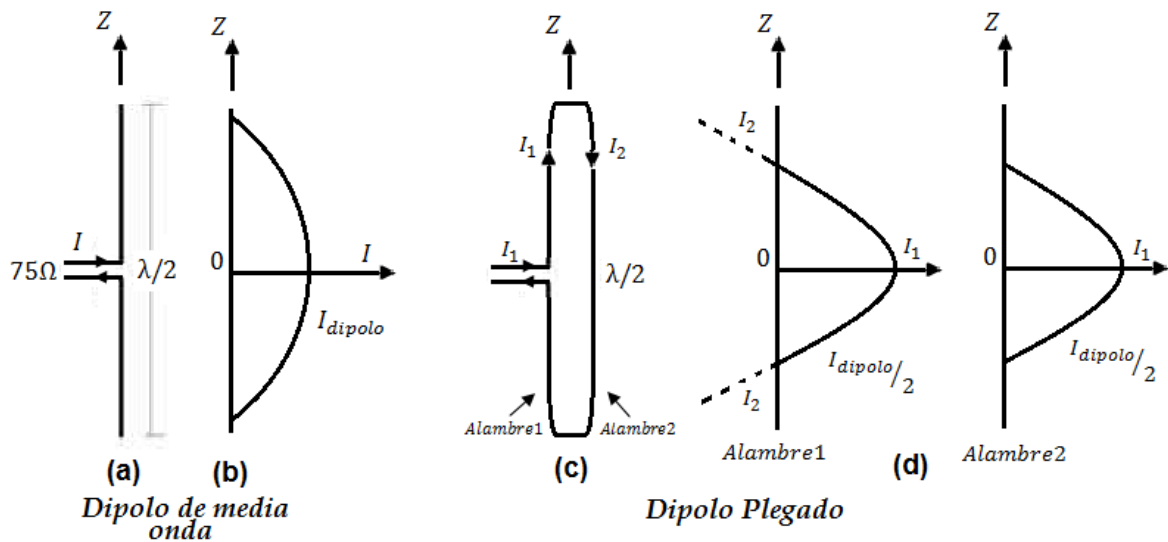
- Trazar los diagramas de radiación de un dipolo plegable de media onda con Balún y sin Balún
- Analizar el aumento de la ganancia al emplear un Balún 4:1
- Aprender el concepto de ganancia dBd y a su vez utilizarla para calcular la ganancia del dipolo

Fundamento teórico

Dipolo plegado $\lambda/2$

Un dipolo plegado, consiste en una antena formada por dos dipolos paralelos cortocircuitado en sus extremos, y uno de estos se alimenta en el centro por medio de un cable coaxial. Pero para esto se necesita una adaptación especial en la línea de transmisión debido a que su valor de impedancia es 4 veces mayor que la impedancia que posee un dipolo. Esta se encuentra alrededor de los 300Ω , mientras que la del dipolo es de 75Ω aproximadamente, lo que le permite al dipolo de media onda una buena adaptación según las características de un cable coaxial.

Para solucionar este problema de desapadantación en dipolo plegado y lograr una buena adaptación a la línea de transmisión, debemos descomponer el dipolo plegado para analizar su distribución de corrientes y poder comprender porque es 4 veces más grande su impedancia. (Ver Figura 5.1)



(a) y (c) configuración física de cada antena, (b) y (d) distribución de corriente

Figura 5.1 Comparación y distribución de corrientes dipolo simple y dipolo plegado

Como ya sabemos en un dipolo de media onda la corriente esta forzada a caer a cero en sus extremos teniendo un pico máximo en su centro (I_{dipolo}), esta distribución de corriente muestra un comportamiento sinusoidal como se puede observar en la Figura 5.1

En el caso del dipolo plegado de median onda, la corriente también muestra un comportamiento sinusoidal pero esta vez con un máximo en su centro de ($I_{dipolo}/2$).

En el dipolo plegado la corriente se comporta un poco diferente, aunque sigue siendo sinusoidal. Esto debido a los dos cables en paralelo, en el primer alambre conectado a la línea transmisión se tiene un máximo de corriente en su centro y al caer la está a cero en sus extremos aumenta nuevamente, cuando pasa al alambre 2, esto puede observarse en la Figura 5.1

La distribución de corrientes en los dipolos (Alambres) 1 y 2 sumadas entre sí, es igual a la del dipolo de media onda y la potencia de radiación también es la misma.

$$P_{dipolo} = \frac{Z_{dipolo} \cdot I_{dipolo}^2}{2} = P_{dipoloplegado} = \frac{Z_{dipoloplegado} \cdot I_{dipoloplegado}^2}{2}$$

$$P_{dipolo} = P_{dipoloplegado} = \frac{Z_{dipoloplegado}}{2} \left(\frac{I_{dipolo}}{2} \right)^2$$

Por consiguiente la impedancia de entrada del dipolo plegado es cuatro veces más grande, que la del dipolo de media onda, que es de 73Ω

$$Z_{dipoloplegado} = (4)Z_{dipolo}$$

$$Z_{dipoloplegado} = (4)(73)$$

$$Z_{dipoloplegado} = 292\Omega$$

También se puede llegar al resultado anterior, teniendo en cuenta que la relación entre las corrientes del dipolo plegado y del dipolo de media onda es:

$$2I_{dipoloplegado} = I_{dipolo}$$

Como ya observamos la adaptación entre la línea de transmisión y la antena no es optima, para una buena transferencia de potencia se deben alinear las impedancias tanto del la antena como la del cable coaxial. Teniendo una impedancia cuatro veces mayor a su valor de cable coaxial esto no es posible. Esta desadaptación ocasionaría que una parte de la potencia transmitida se refleja hacía atrás en lugar de ser radiada por la antena, en el caso de una antena receptora una parte de la señal recibida no será enviada al receptor.

Cuando existe una desadaptación de la impedancia, la siguiente ecuación relaciona la potencia transmitida, a través de la unión de impedancia con la potencia reflejada.

$$P_T = 1 - P_{Rfl}$$

Donde la potencia reflejada $P_{Rfl} = \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2$

$$P_T = 1 - \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2$$

Y si $ROE = \left(\frac{Z_{ant}}{Z_l} \right)$, siendo Z_{ant} la impedancia de la antena, Z_l la impedancia del cable coaxial.

$$P_T = 1 - \left| \frac{Z_{ant} - Z_l}{Z_{ant} + Z_l} \right|^2$$

Donde, P_T es la potencia transmitida a través de la unión de impedancias, P_{Rfl} la potencia reflejada en la unión de impedancia y ROE la relación de onda estacionaria.

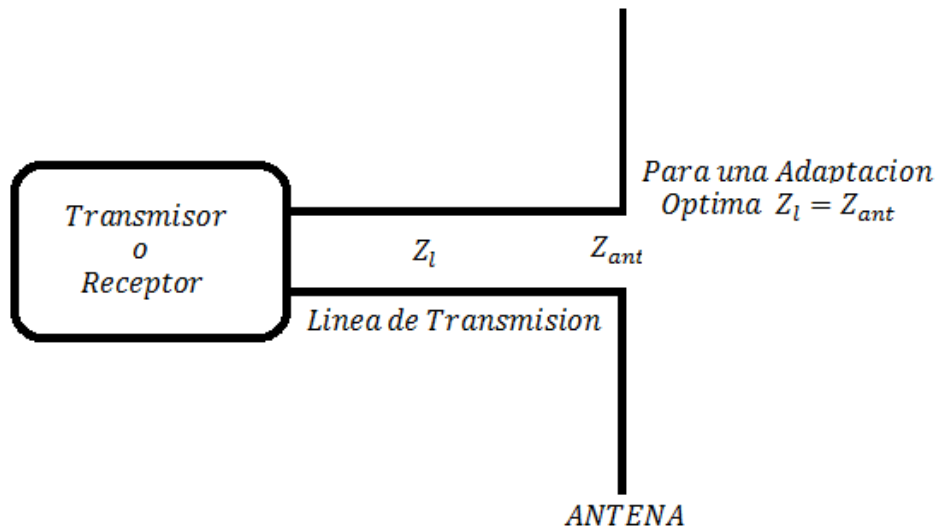


Figura 5.2 Unión da la Impedancia de entrada con la línea de transmisión.

Si la adaptación de la línea es perfecta $Z_{ant} = Z_l$, entonces, no habría relación de onda estacionaria (ROE), ni tampoco potencia reflejada ($ROE = Z_{ant}/Z_l = 1$), (optima condición). Y por consiguiente toda la potencia sería transmitida.

$$P_{Rfl} = \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = \left(\frac{0}{1} \right)^2 = 0$$

En el caso del dipolo plegado se tendría una línea de transmisión conectada a la antena con una impedancia de 73Ω . Sabiendo de antemano que la impedancia de la antena es cuatro veces más grande ($4 \times 73\Omega = 292\Omega$), la ROE ya no sería igual a uno, se produciría una onda estacionaria y si habría potencia reflejada

$$ROE = Z_{ant}/Z_l = 4/1 = 4$$

$$P_{Rfl} = \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = \left(\frac{3}{5} \right)^2 = 0.36$$

$$P_T = 1 - \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = 0.64$$

Entonces para el caso del dipolo plegado el 64% de la potencia se trasmite y un 36% es reflejado.

Para resolver esto, se debería tener una buena adaptación entre la línea de transmisión y la impedancia de la antena. (Ver Figura 5.3)

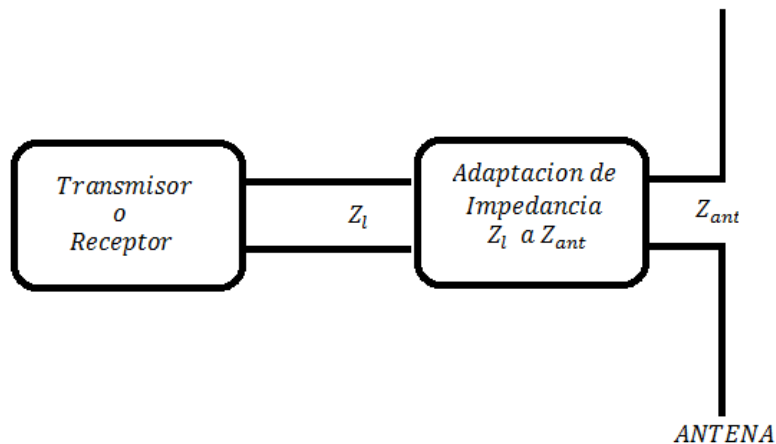


Figura 5.3 Adaptación de la impedancia entre la línea y la antena.

La adaptación de la impedancia resulta un problema cuando se debe conectar un antena simétrica (como un dipolo con alimentación centra), con una línea de transmisión asimétrica (como un cable coaxial).

Este problema se puede resolver empleando una longitud extra $\lambda/4$ de cable coaxial. Como se puede observar en la Figura 5.4, los hilos se juntan en un punto ubicado debajo de las terminales de la antena, así una segunda corriente se induce en la parte exterior del hilo y ambas corrientes se anulan entre sí. A esta configuración se le conoce como BALÚN que es el vocablo adaptado del inglés '*balance - unbalanced*', este es un dispositivo de acoplamiento entre la línea de transmisión y la antena en donde uno de los dos se encuentra balanceado y el otro desbalanceado, el acoplamiento se logra debido a la distribución de constantes eléctricas.

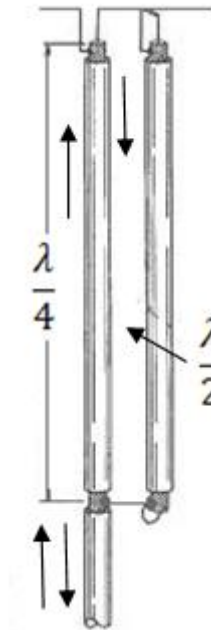


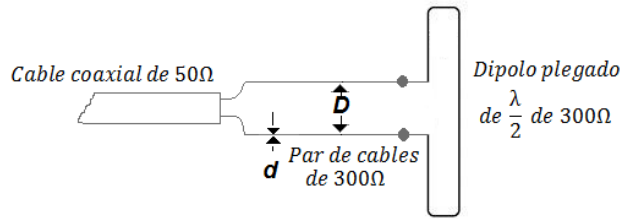
Figura 5.4 Balún para conectar un dipolo con alimentación central con un cable coaxial

El principio es que la línea de transmisión $\lambda/4$ aparece como una impedancia infinita para el dipolo y no interviene en su funcionamiento, no obstante la corriente que circula por el dipolo ayuda a la corriente que fluye por la parte exterior del cable coaxial.

Línea de transmisión sin Balún

En la Figura 5.5 se observa una transición sin balún a partir del cable coaxial de 50Ω , pasando por una línea de transmisión simétrica formada por un par de

alambres paralelos de 300Ω , para luego terminar en un dipolo plegado $\lambda/2$ de aproximadamente 300Ω .



Donde D es la distancia entre los alambres y d representa el diámetro de cada uno de ellos

Figura 5.5 Transición sin Balún a partir de un cable coaxial de 50Ω , pasando por un par de alambres simétricos de 300Ω , para terminar en un dipolo plegado de media onda de 300Ω .

La desadaptación de la impedancia, del montaje sin Balún respecto a la Figura 5.5 sería:

$$ROE = Z_{ant}/Z_l = 300/50 = 6$$

$$P_{Rfl} = \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = \left(\frac{5}{7} \right)^2 = 0.51$$

$$P_T = 1 - \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = 0.49$$

Con una buena adaptación de impedancia se debería transmitir el 100% de la potencia, pero en este caso especial sin balún el 49% de la potencia se trasmite y un 51% de la potencia es reflejado.

Línea de transmisión con balún (transformación 4:1)

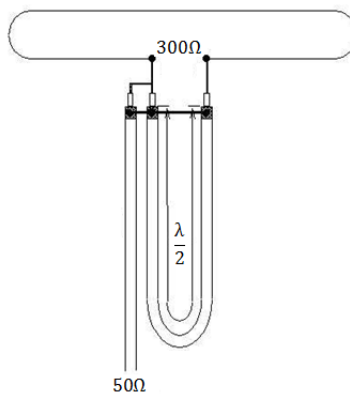


Figura 5.6 Transición a partir de un cable coaxial de 50Ω a un dipolo plegado de 300Ω , atreves de un balún para transformación de impedancia cuatro a uno

Por simple deducción se puede decir que la transformación 4:1 no es exacta, en un contexto teórico lo ideal para pasar de $50\ \Omega$ a $300\ \Omega$ se necesitaría un relación 6:1, pero aunque la relación 4:1 no es perfecta permite un mejoramiento importante a la transmisión de potencia de dipolo plegado de media onda, este mejoramiento en la eficiencia puede observarse calculando y analizando los siguientes resultados.

El transformador (Balún) 4:1 pasa la impedancia de $300\ \Omega$ a $75\ \Omega$, entonces:

$$ROE = Z_{ant}/Z_l = 75/50 = 1.5$$

$$P_{Rfl} = \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = \left(\frac{0.5}{2.5} \right)^2 = 0.04$$

$$P_T = 1 - \left| \frac{ROE - 1}{ROE + 1} \right|^2 = 0.96$$

Esto nos da una muy buena adaptación del 96% de la potencia transmitida y solo un 4% de esta se refleja. Casi una adaptación ideal.

Con estos resultados podemos analizar que el dipolo plegado de media onda con Balún es dos veces más eficiente que uno sin Balún.

Ganancia de un dipolo plegado

Como ya sabemos la ganancia de cualquier antena depende su directividad, una antena con alta ganancia es totalmente directiva mientras que una con poca o cero ganancia es omnidireccional, que es el caso del radiador isotrópico. En el análisis de antenas este valor es expresado en dB, pero en relación con la antena isotrópica comúnmente se expresa en dBi.

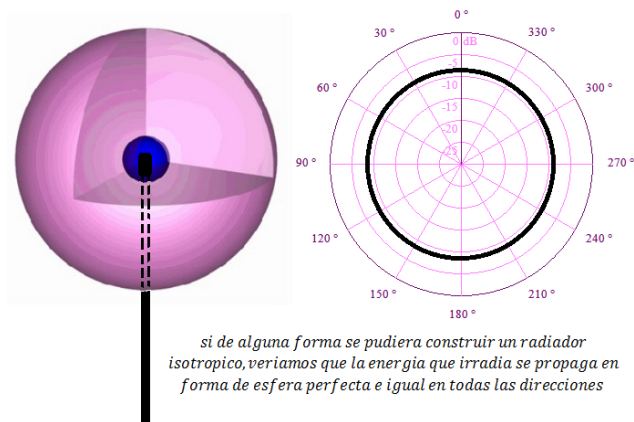


Figura 5.7 Radiador isotrópico

La ganancia también puede ser comparada en relación al dipolo de media onda estándar y se expresaría en dBd. (Ver Figura 5.8).

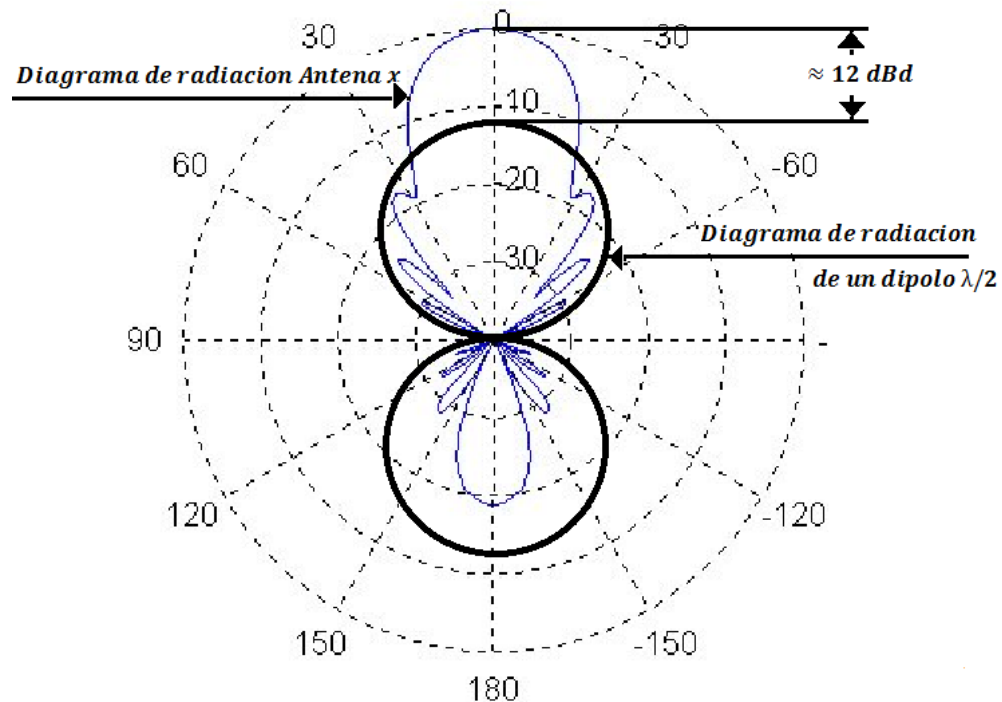


Figura 5.8 Ganancia de una antena x, expresada en relación al dipolo de media onda (dBd)

En la Figura 5.8 vemos como se puede usar como punto de comparación un dipolo estándar o dipolo ideal. Esta Figura muestra los diagramas de radiación en el plano E, de dos antenas. Un dipolo de media onda (de referencia a 0dB) y una antena x.

Como se puede observar en estos diagramas el nivel máximo de señal (NMS) de la antena x es aproximadamente 12dB, en comparación con el trazo de referencia del dipolo ideal.

Si se conoce la ganancia en dBi de un dipolo de media onda resulta fácil convertir una ganancia dada en dBd en otra expresada en dBi. *La ganancia típica de un dipolo de media onda es de 2.14dBi, pero con las antenas de nuestro laboratorio obtenemos una de 1.9dBi.*

Por lo tanto la ganancia expresada en dBi de la antena x, sería:

$$dBd = dbi - 1.9dB$$

$$dBi = (12) + (1.9) = 13.9dBi$$

Tanto el radiador isotrópico como el dipolo de media onda ideal, son antenas de comparación, no se utilizan en situaciones reales. Debido a lo difícil que resulta construirlas, su función principal es la de comparar otras antenas en términos de su ganancia.

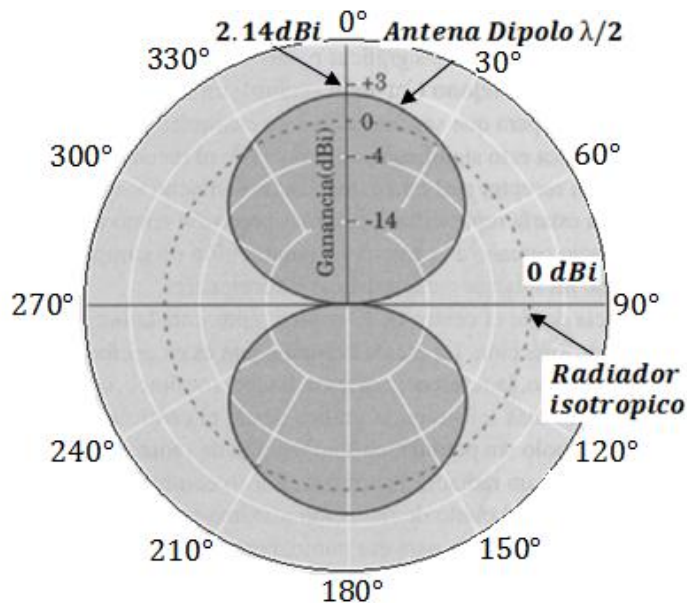


Figura 5.9 Ganancia del dipolo estándar

Ej. Una antena con ganancia de 8.4 dBi es equivalente a emplear una referida a un dipolo de media onda de tan solo 6,5 dBd

$$8.4dBi = 6.5dBd + 1.9$$

Ahora teóricamente se supone que las ganancias de los dipolos de $\lambda/2$ y del dipolo plegado $\lambda/2$ deberían ser iguales, pero a la hora de realizar las pruebas algunas veces existen ciertas diferencias.

Utilice la *ganancia típica* en dBi del dipolo de media onda del laboratorio, para expresar la ganancia de dipolo plegado *con Balún* en dBd y dBi.

$$G_{dipoloplegado} = \text{_____} dBd$$

$$G_{dipoloplegado} = \text{_____} dBi$$

Procedimiento

A. Materiales:

- Generador de RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antena Yagi fija
- Mástil para antena con clips horizontales
- Mástil para antena con clips verticales
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Conector con Balún para dipolo plegado
- Conector sin Balún para dipolo plegado
- Dipolo plegado $\lambda/2$
- Dipolo $\lambda/2$
- Plano de tierra
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 5.10

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

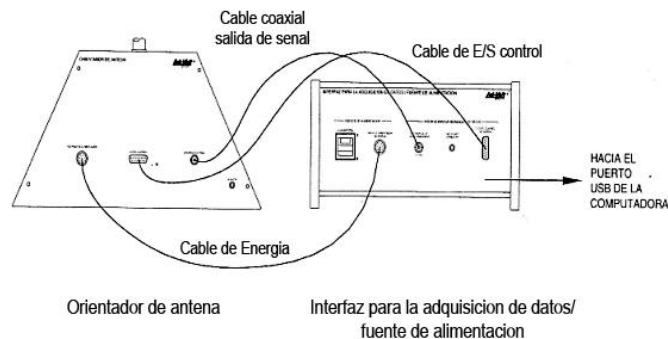


Figura 5.10 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté la antena Yagi en el mástil con clips horizontales. Oriéntela para adquirir el diagrama de radiación en el plano E y conéctela en la posición

OSCILADOR de 1 GHz, del Generado RF, utilizando el cable tipo SMA mas largo.(ver Figura 5.11)



Figura 5.11 Antena Yagi polarizada horizontalmente

D. Elija el conector con Balún y la antena dipolo plegado (ver Figura 5.12)



Figura 5.12 Dipolo plegado con balún

E. Fije el otro mástil con clips horizontales en el soporte deslizante del *orientador de antena*, monte el dipolo plegado en posición horizontal para que quede orientada según el plano E.

F. Utilicé el soporte deslizante para asegurarse de que la antena este alineada con el centro de rotación del *orientador de antena*. Conecté el dipolo plegado en la

entrada RF, que se encuentra en la parte superior del orientador de antena, utilizando el cable tipo SMA corto, como se observa en la siguiente Figura.



Figura 5.13 Montaje del dipolo plegado con balún plano E.

G. Separé las antenas una distancia $r=1\text{m}$, luego ajústalas para que queden enfrentadas y a la misma altura. (ver Figura 5.14)

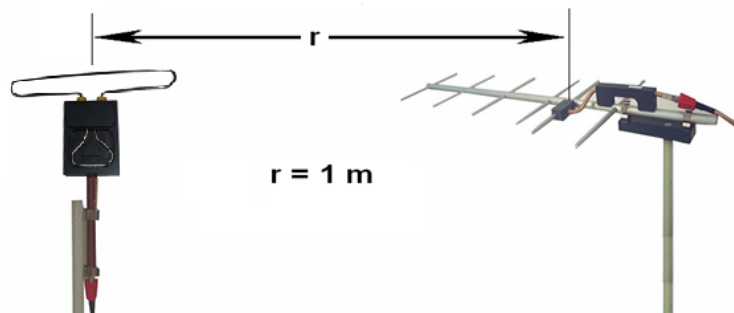


Figura 5.14 Antenas enfrentadas, r distancia entre las antenas

H. En el generador RF

MODO DEL OSCILADOR	1GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

I. Coloqué el interruptor de POTENCIA RF del lado del oscilador de 1 GHz en la posición EMITE y optimice la recepción de la señal, ajustando el nivel de atenuación.

Inicie una nueva adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento1.

J. Giré la antena receptora de manera que esta quede en forma horizontal, cambie el soporte de clips verticales por uno de clips horizontales, asegurándose de que su diagrama de radiación quede orientado según el plano H (figura 5.15).

K. Giré a su vez la antena Yagi para que quede polarizada verticalmente.



Figura 5.15 Montaje orientado según el plano H

L. Realicé la adquisición del diagrama y almacene esta también como plano H en el Documento1.

M. Teniendo las adquisiciones en el plano H y plano E del dipolo plegado con Balún y almacenados en el Documento1. Cambie el conector *con balún* por un conector *sin balún*. Observe la siguiente Figura.



Figura 5.16 Montaje de una antena dipolo plegado sin balún

N. Aproveché el montaje ya realizado para la adquisición en el plano H. y realicé una nueva adquisición en el plano H, pero con el conector sin balún acoplado a la antena dipolo plegado.

O. Sin modificar el nivel de atenuación, inicie la adquisición y almacénela como plano H en un nuevo Documento2.

P. Giré nuevamente la antena Yagi para polarizarla horizontalmente.

Q. Retiré y cambie el mástil de clips horizontales por el de clips verticales, para una orientación según el plano E (figura 5.17). Instale el dipolo plegado cambiando el cable tipo SMA mediano por el corto.



Figura 5.17 Montaje de dipolo plegado sin balún plano E

R. Inicie la nueva adquisición y almacénela en el Documento2 como plano E.

S. Compare los diagramas de radiación obtenidos en los dos montajes.
¿Cual montaje proporciona la mejor ganancia?

T. Ahora reemplace el dipolo plegado por un dipolo de $\lambda/2$, no modifique el nivel de atenuación, y realice una nueva adquisición orientada según el plano E. Almacene este diagrama en un nuevo Documento3.

U. Compare y analice la ganancia del dipolo plegado con la del dipolo de $\lambda/2$ en el plano E. Teóricamente se asumen que las ganancias deberían ser iguales. ¿Que observa? ¿Esta afirmación es cierta?

Preguntas

✓ ¿Porque la resistencia de radiación de un dipolo plegado es cuatro veces la de un dipolo simple?

✓ ¿Qué tipo de antenas se utilizan como punto de referencia para hallar las ganancias dBi y dBd?

¿Si tenemos una antena que tiene una $AHPM_E = 22.1^\circ$ y una $AHPM_H = 24.3^\circ$, cuál sería su ganancia en dBd y dBi?

✓ ¿Porque es importante la adaptación de la impedancia a la línea de transmisión?

✓ ¿Qué función cumple un balún?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.6 PRÁCTICA N° 6

Antenas Monopolos

Objetivo general

- Al completar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con las características de las antenas monopolo estándar y monopolo de brazos inclinado.

Objetivos específicos

- Trazar el diagrama de radiación de un monopolo $\lambda/4$ encima de un plano de tierra conductor.
- Trazar el diagrama de radiación de un monopolo $\lambda/4$ de brazos inclinados.
- Comparar la ganancia directiva de un dipolo $\lambda/2$ con la de un monopolo $\lambda/4$.

Fundamento teórico

Monopolo

Un monopolo es una antena vertical de $\frac{1}{4}$ de longitud de onda, ó sea, la mitad de una antena dipolo, por esta razón se considera que el monopolo no es una antena completa y que necesita de un plano de tierra o de una malla de hilos metálicos para poder funcionar correctamente. Aunque, se podría trabajar sin plano de tierra e hilos metálicos, como por ejemplo una superficie de agua salada o artificial, o también podríamos utilizar la superficie de la tierra, pero en estos casos aumentarían las pérdidas y la eficiencia sería menor.

En el caso de un monopolo sobre un plano perfectamente conductor (ver Figura 6.1(a), los campos por encima del plano de tierra de este se puede encontrar utilizando el equivalente de la antena en el espacio libre, observando la Figura 6.1(b). Mientras que los campos por debajo del plano de tierra en la Figura 6.1(a) son cero (imagen de la antena). Es decir, que la directividad de un monopolo es el

doble de la directividad de una antena de dipolo del doble de la longitud (ver Figura 6.1(c)). La razón de esto, es simplemente porque la radiación no se produce por debajo del plano del suelo, por lo que la antena es realmente el doble de "directiva".

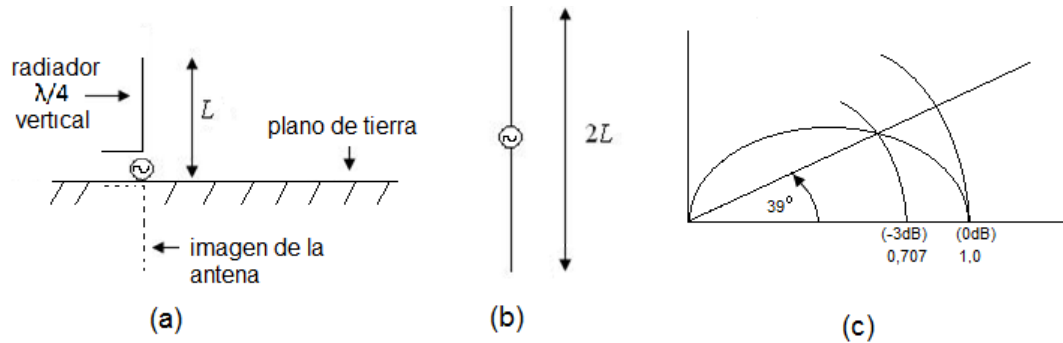


Figura 6.1 (a) descripción física, (b) dipolo $\lambda/2$, (c) diagrama de radiación monopolo

Analizando y comparando las graficas la corriente en el monopolo, sería igual a la mitad de la correspondiente a un dipolo. El voltaje de entrada sería a su vez un medio de la del dipolo y por consiguiente la impedancia de entrada del monopolo será la mitad de la de un dipolo.

$$Z_{ent \text{ (monopolo } \lambda/4)} = 37.5\Omega$$

Observando la Figura 6.1(c), también podemos tener en cuenta que un monopolo tiene la misma configuración de un dipolo, pero este solo esta radiando en la mitad del espacio, por lo que la potencia que radia el monopolo también es la mitad de la del dipolo.

También podríamos afirmar que debido a que la corriente es la misma que la de un dipolo $\lambda/2$, la potencia radiada también será la misma. Pero como el plano de tierra corta el diagrama de radiación a la mitad, la abertura del haz será la mitad de la del dipolo. Por lo tanto, la directividad y ganancia serán dos veces la del dipolo.

$$G_{monopolo} = 2 \times 1,64 = 3,4 \text{ ó } 5\text{dB}$$

Monopolo estándar

En la Figura 6.2 se muestra un monopolo estándar, el cual utilizaremos para esta práctica, este monopolo se alimenta con un cable coaxial de 50Ω a través de un plano de tierra metálico.

En teoría el tamaño de este plano de tierra debería ser infinito, pero en la practica un radio de 5λ proporciona una condición muy cercana a la ideal, en estas pruebas utilizaremos uno con un radio de $0,5\lambda$, que es el radio mínimo establecido.

El cable coaxial utilizado tiene una impedancia de 50Ω , en este caso para este tipo de antena existe una transición entre la impedancia del cable y la del monopolo que es de 37.5Ω . Esta transición viene dada por un diámetro a del conductor central y b de la distancia entre este conductor y el borde del orificio del plano de tierra.

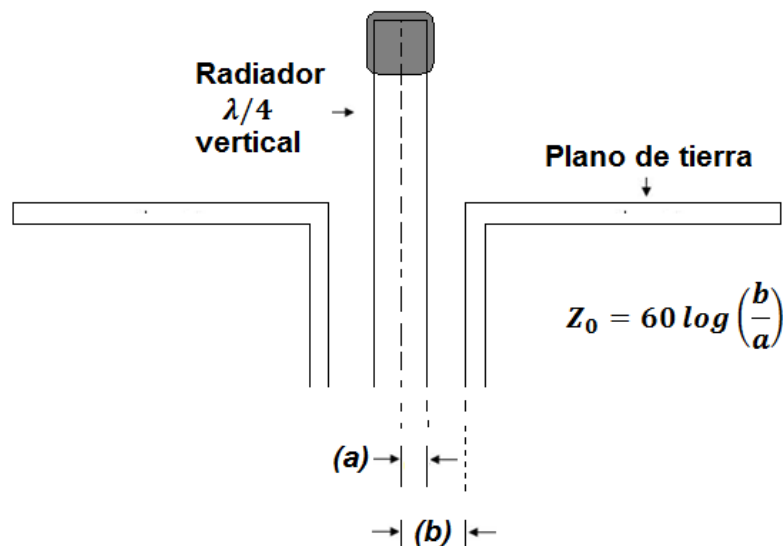


Figura 6.2. Monopolo alimentado con un cable coaxial y plano de tierra

Donde $a = 0.159cm$ y $b = 0.317cm$, la impedancia sería igual a 41.5Ω que es un valor intermedio y aceptable entre la impedancia de 50Ω del cable coaxial y la de monopolo de 37.5Ω .

Monopolo de brazos inclinados

En la siguiente figura podemos observar el monopolo de brazos inclinados, también conocido como antena a plano de tierra.



Figura 6.3 Monopolo de brazos inclinados.

Esta antena está diseñada para ser alineada con un cable coaxial a 50Ω , para comprender esto analizaremos la Figura 6.4; donde podemos observar un dipolo(a), un monopolo de brazos inclinados (b) y un monopolo montado sobre un plano de tierra(c). Considerando que un dipolo tiene una impedancia de 73Ω y que con un monopolo montado sobre un plano de tierra a 180° , se tiene una impedancia 37.5Ω , con los alambre desplegados solo a 90° (45° desde el eje vertical (b)) se logra adaptar el monopolo a la impedancia del cable coaxial, y se obtiene un monopolo de brazos inclinados con una impedancia aproximada de 50Ω .

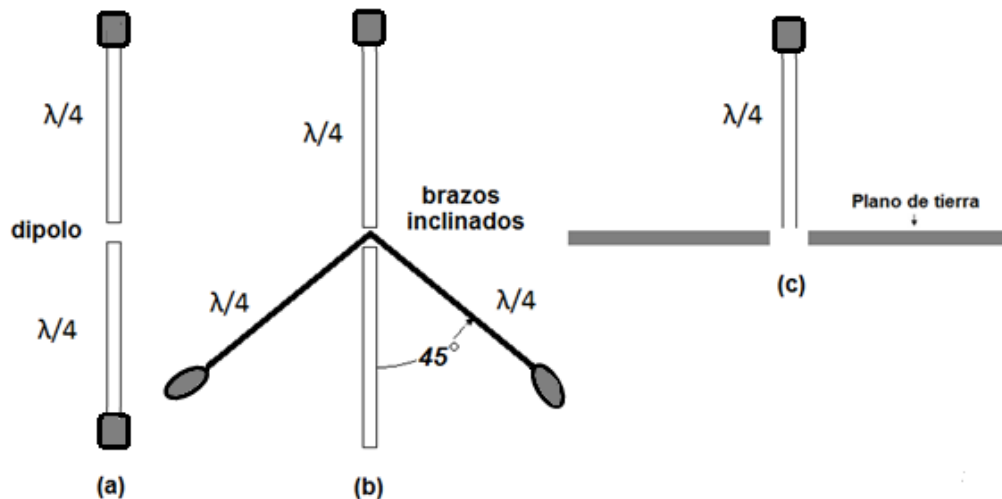


Figura 6.4 (a) Dipolo $\lambda/2$, (b) Monopolo de brazos inclinados, (c) Monopolo estándar

Procedimiento

A. Materiales:

- Generador de RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antena Yagi fija
- Mástil para antena con clips horizontales
- Mástil para antena con clips verticales
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Varilla para monopolo $\lambda/4$
- Alambres curvados para brazos inclinados
- Balún antena monopolo
- Plano de tierra
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 6.5

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

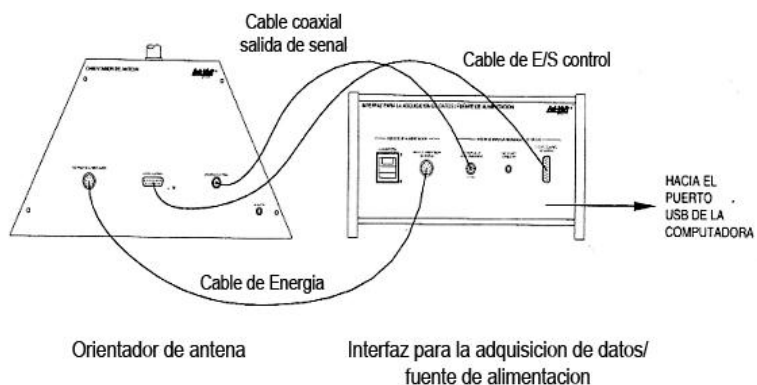


Figura 6.5 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté la antena Yagi en el mástil con clips horizontales, orientada para adquirir el diagrama de radiación en el plano E y conéctela en la posición OSCILADOR de 1 GHz, del generador RF, utilizando el cable tipo SMA mas largo.(ver Figura 6.6)



Figura 6.6 Antena Yagi polarizada horizontalmente

D. Seleccioné el alambre $\lambda/4$ y encájelo en el centro del conector del monopolo, ahora introduzca el monopolo en el centro del plano de tierra y fíjelo firmemente mediante los dos tornillos.

E. Fijé el otro mástil con clips horizontales en el *orientador de antena*. Instalé la antena en posición horizontal para que quede orientada según el plano E. (ver Figura 6.7)

F. Utilicé el soporte deslizante para asegurarse de que la antena este alineada con el centro de rotación del *orientador de antena*. Conecté el monopolo en la entrada RF, que se encuentra en la parte superior del orientador de antena, utilizando el cable tipo SMA mediano como se observa en la siguiente figura.

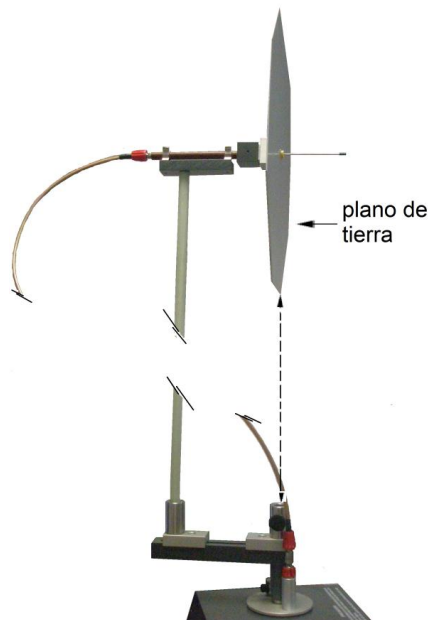


Figura 6.7 Montaje del monopolo según el plano E

G. Separé las antenas una distancia $r=1.30\text{m}$, luego ajústalas para que queden enfrentadas y a la misma altura.(ver Figura 6.8)

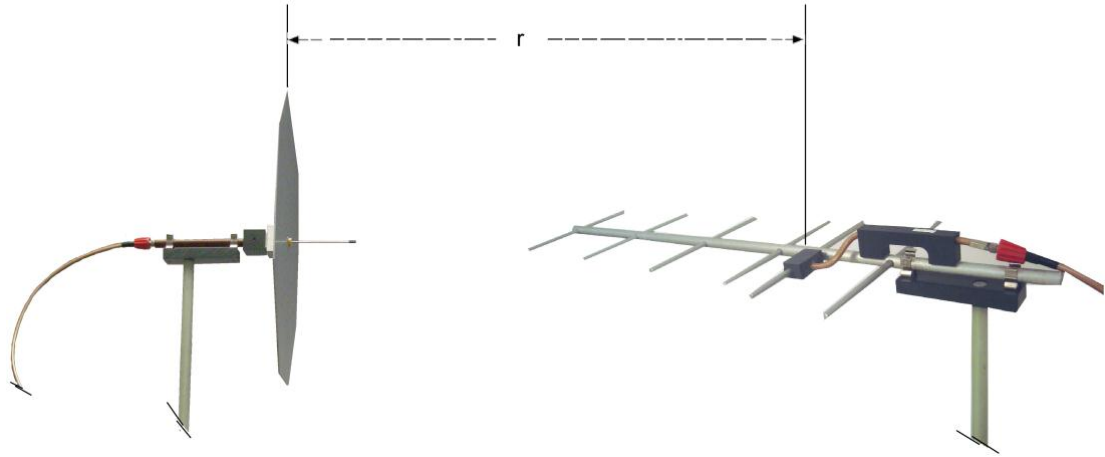


Figura 6.8 Distancia r entre las antenas.

H. En el generador RF

MODO DEL OSCILADOR	1GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

I. Coloqué el interruptor de POTENCIA RF del lado del oscilador de 1 GHz en la posición EMITE y optimice la recepción de la señal con el atenuador, aproximándola a un valor de -3dB.

Inicie una adquisición y almacene el diagrama como plano E en un nuevo Documento1.

J. Rote la antena Yagi de tal manera que quede polarizada verticalmente.

K. Retiré el monopolo y reemplace el mástil de clips horizontales por el de clips verticales, e instale la antena monopolo asegurándose de que roten según el plano H, cambie el cable mediano tipo SMA y reemplácelo por el corto.



Figura 6.9 Montaje del monopolo orientado según el plano H

L. Realicé una nueva adquisición y almacénela como plano H en el Documento1.

M. Retiré la antena monopolo del mástil, sepárela del plano de tierra y del conector. Introduzca los cuatro alambres curvados para formar la antena monopolo de brazos inclinados. Fíjela nuevamente en el mástil con los clips verticales para que rote según el plano H.(ver Figura 6.10)



Figura 6.10 Montaje de un monopolo de brazos inclinados.

N. Inicié una nueva adquisición, sin modificar el nivel de atenuación. Almacene el diagrama como plano H en un nuevo Documento2.

O. Realicé las modificaciones pertinentes, cambiando el mástil y el tipo de cable SMA para una adquisición en el plano E, obtenga su diagrama de radiación, luego almacene este diagrama de radiación plano E junto al plano H en el Documento2.

P. Teniendo los diagramas de radiación en el plano E de ambas antenas monopolo, compare. ¿cual posee una mejor ganancia?

Q. Retiré los cuatro alambres inclinados del monopolo, y sin modificar el nivel de atenuación, realice una nueva adquisición en el plano E, almacene este diagrama en un nuevo Documento3

R. Realice las modificaciones pertinentes para un adquisición orientada según el plano H y almacene este diagrama de radiación junto al plano E en el Documento3

S. Comparé los diagramas de estas dos últimas adquisiciones con las del monopolo con brazos inclinados y el monopolo montado sobre el plano de tierra.

T. Según la teoría, se supone que la directividad de un monopolo es el doble de la del dipolo $\lambda/2$, para comprobar esta afirmación monte un dipolo $\lambda/2$ y realice solo una adquisición orientada según el plano E.

U. Comparé este resultado con los obtenidos en el monopolo y explique. ¿cual antena tiene mejor ganancia?

¿Los resultados son los esperados?

Preguntas:

✓ ¿Por qué la directividad de un monopolo encima de un plano de tierra es dos veces la del dipolo?

✓ ¿Cuál es la función que cumplen los alambres inclinados en el monopolo?

✓ ¿Qué parámetro se deben considerar para la impedancia de entrada de un monopolo?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.7 PRÁCTICA N° 7

Antenas De Cuadros

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con las características de las antenas de cuadros de longitud λ y las antenas de cuadros pequeños.

Objetivos específicos

- Observar la relación entre el punto de alimentación de la antena de cuadro y su polarización.
- Trazar el diagrama de radiación de la antena y utilizar el dipolo $\lambda/2$ para calcular su ganancia.
- Estudiar la relación entre la forma de una antena de cuadros y su directividad.

Fundamento teórico

Antenas de cuadro de onda completa (λ)

Cuando una antena de cuadro tiene una longitud de onda completa (λ), existen dos lados de la antena que no funcionan, debido a que sus radiaciones se anulan entre sí. Este tipo de antenas resulta muy útil por que presentan valores razonables de ganancia e impedancia de entrada, y tienen diferentes formas que pueden ser cuadradas, circulares, formato diamond (losange) y rectangulares, pero la forma de la antena no influye en su directividad, todas la formas proporcionan diagramas de radiación y ganancias más o menos equivalentes.

Su polarización depende del punto de alimentación. Si se la alimenta por su lado horizontal, la polarización será horizontal y si se la alimenta en su eje vertical, será vertical. Aunque su forma cambie ocurre lo mismo en las otras.

Distribución de corrientes a lo largo de una antena de cuadro de onda completa

Para poder comprender la distribución de corrientes en la antena de cuadro, se debe entender primero la distribución de corrientes a lo largo del cuadro y cómo los campos resultantes se suman o se anulan.

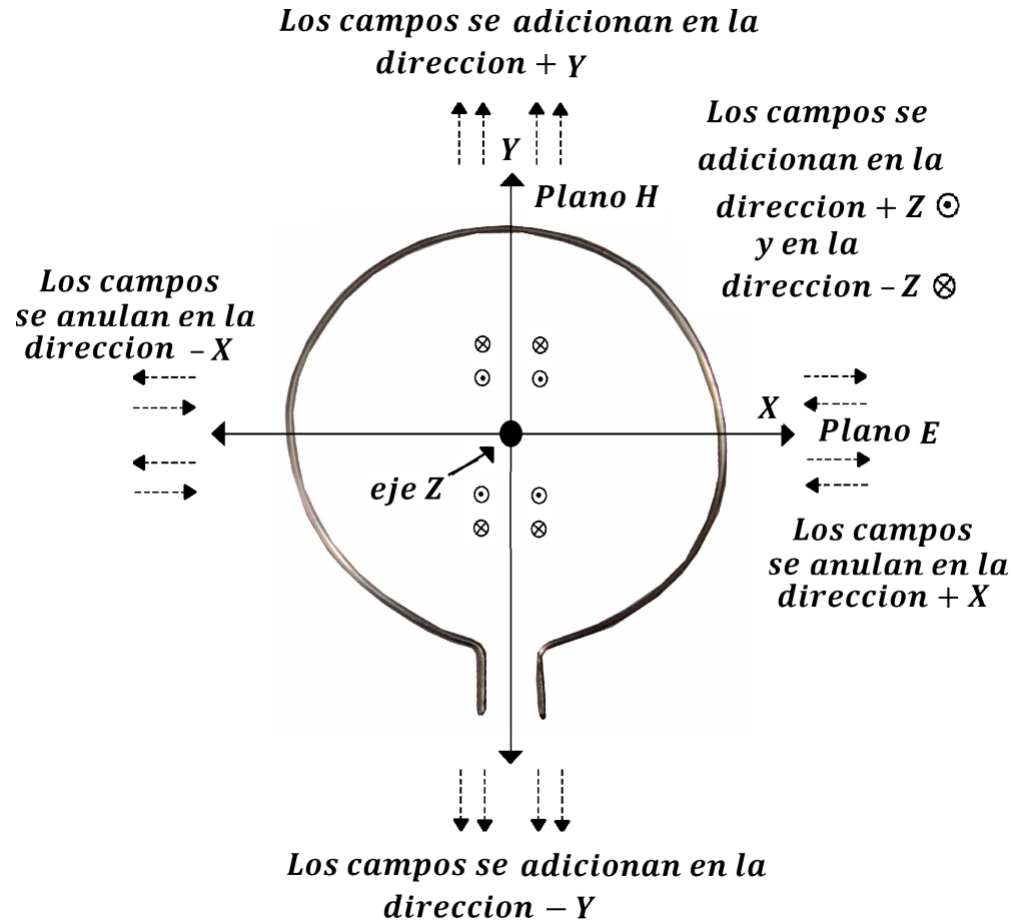


Figura 7.1 Distribución de corriente en una antena de cuadro circular de onda completa (λ)

En la Figura 7.1, se puede observar como los campos resultantes se suman o se anulan. Los campos se suman en las direcciones +Y, -Y, +Z y -Z, pero se anulan en la dirección +X, -X.

Diagrama de radiación de las antenas de cuadro de onda completa.

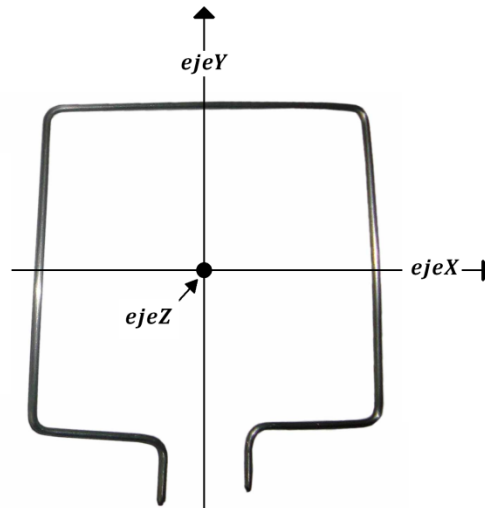


Figura 7.2 Antena de cuadro cuadrado fijado verticalmente (plano X-Y).

Si suponemos que el eje Z nos está apuntando, como se ve en la Figura 7.2 y a su vez observamos detenidamente, podemos ver como los planos X-Z, Y-Z y el plano cuadrado, constituyen respectivamente los planos E, H y X-Y.

- **Diagrama de radiación en el plano E (plano X-Z):** Para que el plano este orientado según el plano E, el cuadro se debe rotar alrededor del eje Y.

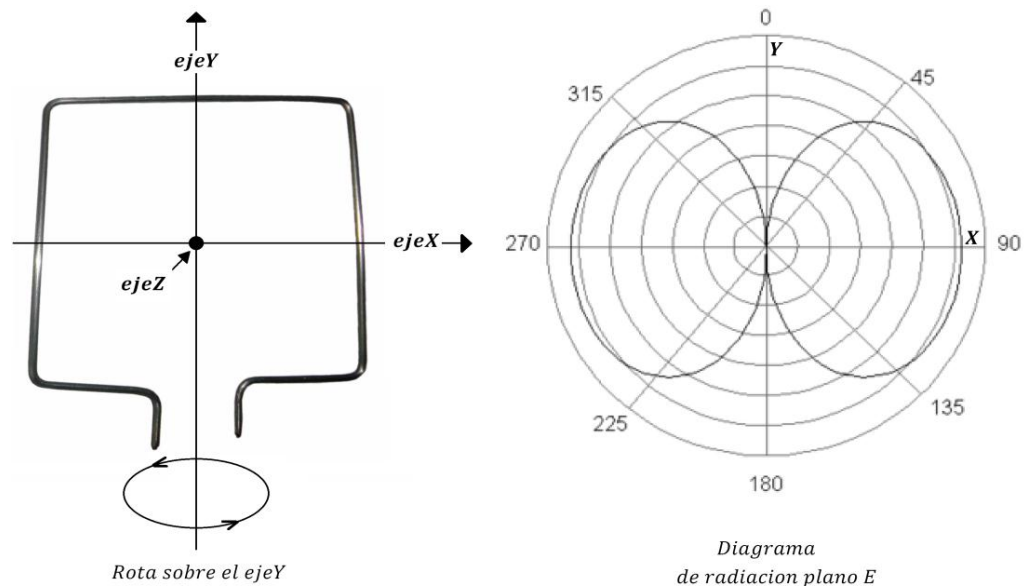


Figura 7.3 Diagrama de radiación plano E de una antena de cuadros de onda completa

- **Diagrama de radiación en el plano H (plano Y-Z)** Para que el plano este orientado según el plano H, el cuadro se debe rotar alrededor del eje X.

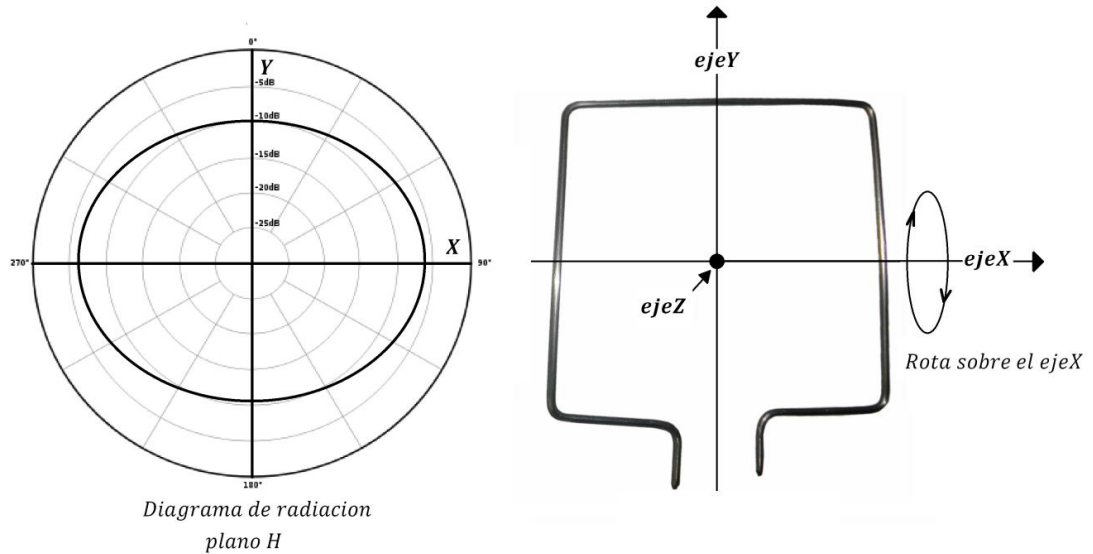


Figura 7.4 Diagrama de radiación plano H de una antena de cuadros de onda completa

- **Diagrama de radiación en el plano del cuadro (plano X-Y):** Para que el plano este orientado según el plano del cuadro, el cuadro se debe rotar alrededor del eje Z.

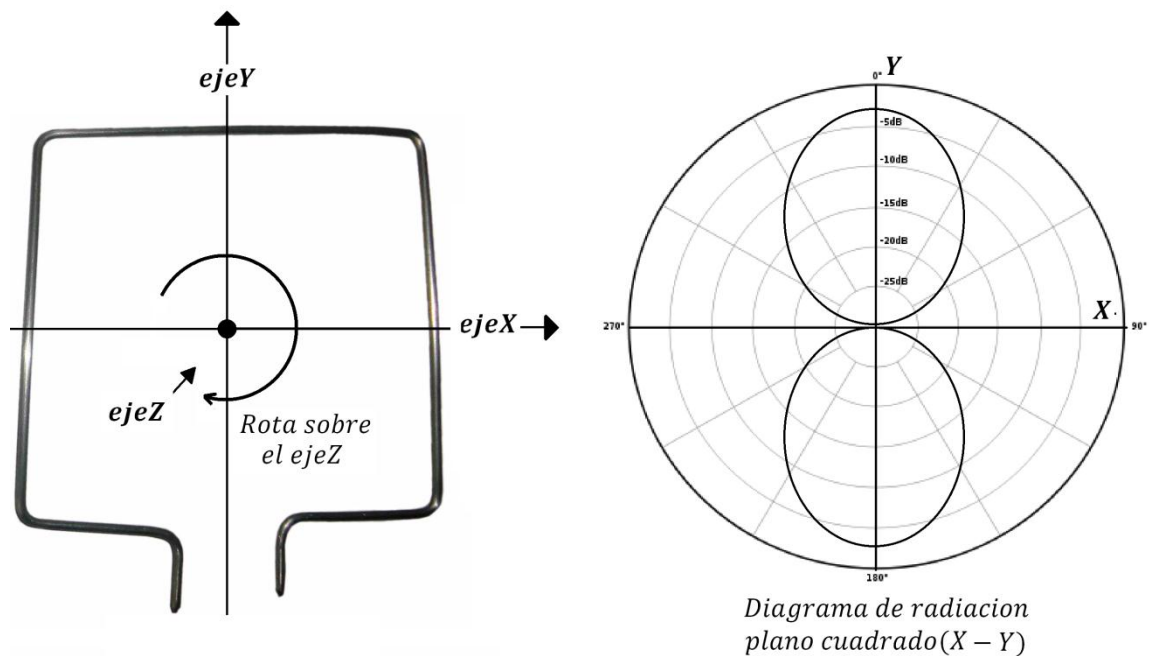


Figura 7.5 Diagrama de radiación plano cuadrado de una antena de cuadros de onda completa

Polarización de una antena de cuadro

Para comprender mejor la relación de rotación de los ejes con los planos E, H y (X-Y), observe la siguiente figura, donde la onda del plano E esta polarizada en dirección Y, en dos instantes distintos.

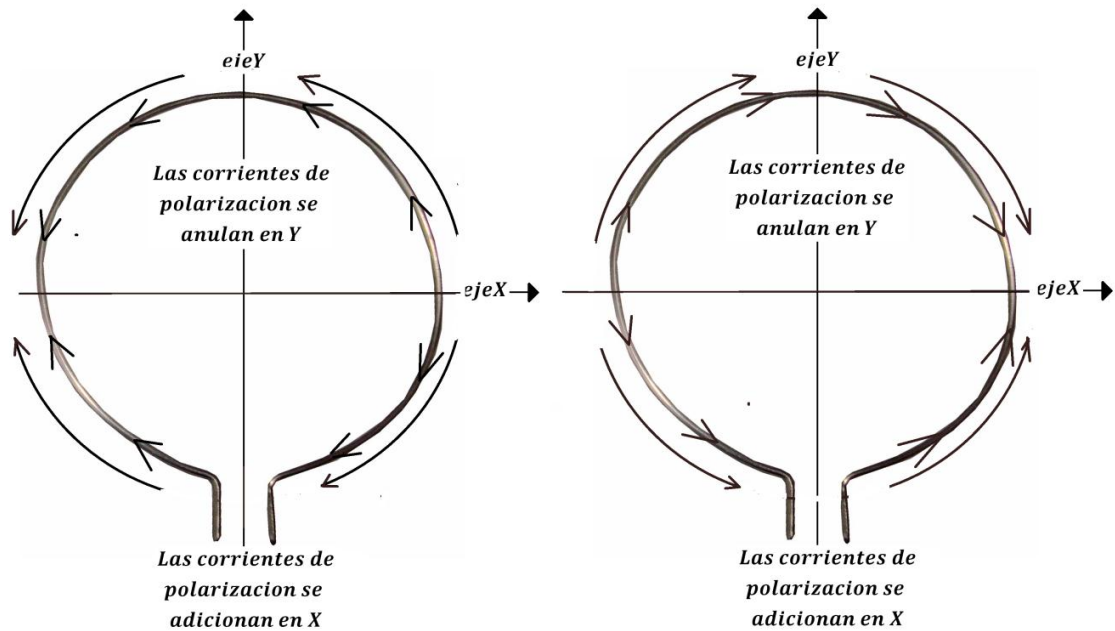


Figura 7.6 Polarización del plano E en la dirección x (eje vertical).

Se pueden ver las corrientes que circulan en la dirección X, en ambas mitades del cuadro se suman mientras que en la dirección Y se anulan.

Esto significa que si el cuadro está en posición vertical y su punto de alimentación se encuentra arriba o debajo de ese eje, la onda E se polariza horizontalmente. Por otro lado si el cuadro mantiene la misma posición, pero su punto de alimentación cambia al lado derecho o izquierdo, esta onda se polarizaría verticalmente (onda plano H).

Impedancia, ganancia y abertura de la antena de cuadro.

La impedancia de entrada de una antena de cuadro es relativamente baja, alrededor de los 100Ω , cuando la longitud del cuadro se aproxima a λ . Cuando la longitud de esta antena se acerca a la onda completa, la reactancia tiende a cero. En estas condiciones la antena es muy eficiente y su ancho de banda es razonable. La antena tiene una ganancia cercana a 3dB, menor que los 3.8dB en comparación con el dipolo de onda completa, pero más alta que los 2.14dB del

dipolo de media onda. Y su abertura se encuentra entre los 47° de dipolo de onda completa y los 78° del dipolo de media onda.

Procedimiento

A. Materiales:

- Generador RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Antena Yagi fija
- Mástil para antena con clips horizontales
- Mástil para antena con clips verticales
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Antena de cuadros cuadrada longitud λ
- Antena de cuadros circular
- Antena de cuadro de formato diamond
- Dipolo $\lambda/2$ onda
- Conector sin Balún antena de cuadros
- Plano de tierra
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 7.7

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

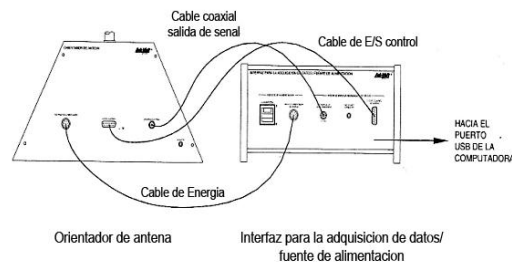


Figura 7.7 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté la antena Yagi en el mástil con clips horizontales, oriéntela para adquirir el diagrama de radiación en el plano E y conéctela en la posición OSCILADOR de 1 GHz, del generador RF, utilizando el cable tipo SMA mas largo.(ver Figura 7.8)



Figura 7.8 Antena Yagi polarizada horizontalmente

D. Utilicé el conector para antenas de cuadro sin Balún y monte una antena de cuadros cuadrada de longitud λ .

E. Fijé el otro mástil con clips horizontales en el soporte deslizante del *orientador de antena*, instale la antena de cuadros en posición horizontal para que quede orientada según el plano E. (Ver Figura 7.9)

F. Utilicé el soporte deslizante para asegurarse de que la antena este alineada con el centro de rotación del *orientador de antena*. Conecte esta antena en la entrada RF, que se encuentra en la parte superior del orientador de antena; utilice el cable tipo SMA mediano como se observa en la siguiente Figura.

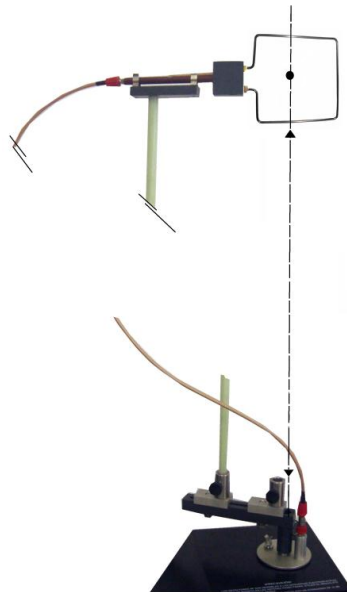


Figura 7.9 Montaje de la antena de cuadros.

G. Separé las antenas una distancia $r=1\text{m}$, luego ajústalas para que queden enfrentadas y a la misma altura.(ver Figura 7.10)

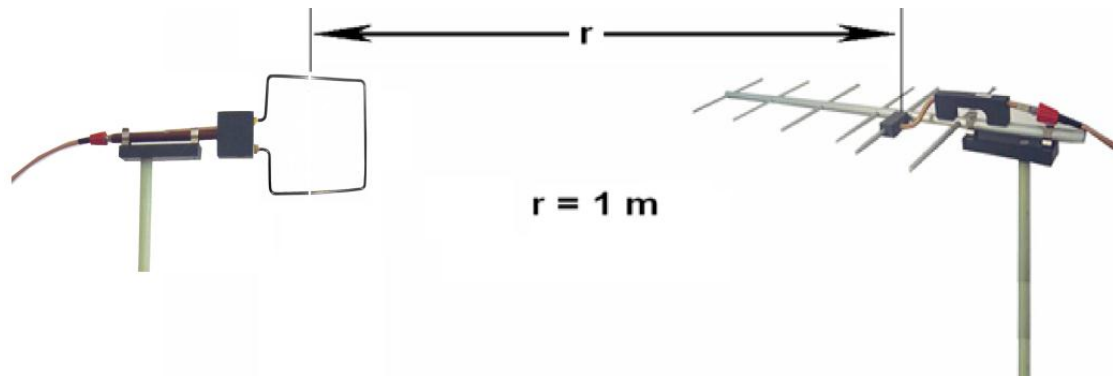


Figura 7.10 Antenas enfrentadas, r distancia entre antenas

H. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	1GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

I. Coloqué el interruptor de POTENCIA RF del lado del oscilador de 1 GHz en la posición EMITE y optimice la recepción de la señal ajustando el nivel de atenuación, aproximadamente un valor de 6dB y trate de mantener este nivel de señal durante todos los montajes de esta práctica.

J. Inicié una nueva adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento1.

K. Giré solo la antena receptora de manera que esta quede en forma horizontal, como se observa en la Figura 7.11. Deje la antena Yagi como se encuentra, no modifique su polarización.

Realicé la adquisición del diagrama y almacene esta también como plano E en un nuevo Documento2.

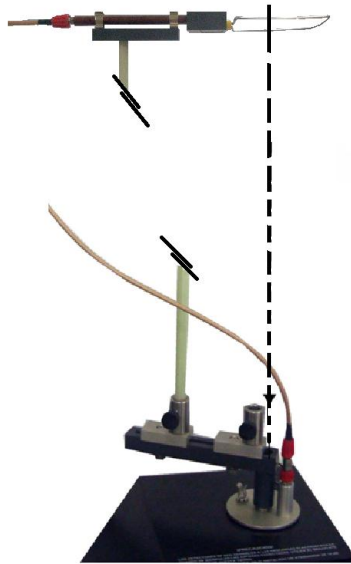


Figura 7.11 Segundo montaje con la antena de cuadros

L. Cambie el mástil con clips horizontales de la antena de cuadro, por uno de clips verticales, e instale la antena como se ilustra en la Figura 7.12. Reemplace el cable tipo SMA mediano por el corto, no modifique la antena Yagi. Inicie una adquisición y almacene el diagrama como plano E, en un nuevo Documento3.



Figura 7.12 Tercer montaje con la antena de cuadros

M. Teniendo en cuenta los tres diagramas de radiación de la antena de cuadro y la orientación de la antena Tx. Analicé cual de los tres montajes concuerda según la teoría y permite una adecuada adquisición en el plano E. Explique con sus palabras

N. Luego para una adquisición orientada según el plano H, gire la antena Yagi para que quede polarizada verticalmente.
Giré la antena de cuadro, para esto primero desmóntela y cambie el mástil de clips verticales, por el de clips horizontales, he instale nuevamente la antena como se hizo en la Figura 7.9

O. Realicé una nueva adquisición y almacene el diagrama de radiación como plano H en un nuevo Documento3.

Utilice las pestañas de la barra de herramientas para visualizar en diagrama de radiación en los diferentes planos.

Anchura de haz de potencia mitad (AHPM)

P. Calculé: $AHPM_E = \text{_____}^\circ$

Q. Retiré la antena de cuadro, cambie el mástil de clips horizontales por uno de clips verticales. Monte este mástil, he instales una antena dipolo $\lambda/2$. Conéctela al orientador de antena utilizando el cable tipo SMA corto.(Figura 7.13)



Figura 7.13 Antena dipolo $\lambda/2$

R. Giré la antena Yagi para polarizarla horizontalmente según el plano E, realice una nueva adquisición y almacénela en un nuevo Documento1.

S. ¿Compare los diagramas de radiación en el plano E de la antena de cuadros con la del dipolo $\lambda/2$, cual tiene mejor ganancia?

Directividad

T. Cambié la antena de cuadro cuadrada por una antena de cuadro circular, he instálela en un mástil con clips verticales, luego oriéntela para realizar una adquisición según el plano E. Almacené este diagrama de radiación en un nuevo Documento1 (ver Figura 7.14)



Figura 7.14 Antena de cuadros circular

U. Retiré y cambie la antena de cuadro circular, reemplácela por una de forma diamond y oriéntela según el plano E. (Ver Figura 7.15)

Realice una nueva adquisición y almacénela como plano E, en un nuevo Documento2.



Figura 7.15 Antena de cuadro formato diamond (losange)

V. Compare y observe las similitudes los diagramas de radiación en el plano E de estas tres antenas de cuadro. ¿La información obtenida concuerda con la teoría? ¿Porque?

Preguntas

✓ Se desea montar una antena de cuadros cuadrada de longitud λ , empleando una línea de transmisión que tiene una impedancia de 50Ω , ¿Calcule la ROE?

✓ ¿Cuáles son las ventajas y desventajas de una antena de cuadros en comparación con otras antenas?

✓ ¿En que influye la forma de la antena de cuadros en su directividad?

✓ De acuerdo al flujo de corrientes en la antena de cuadros, ¿en que plano estaría orientado su diagrama, si su polarización es vertical?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.8 PRÁCTICA N° 8

Antenas Helicoidales

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con la polarización circular y las características de las antenas helicoidales que operan a 10GHz

Objetivos específicos

- Aprender a diferenciar una antena helicoidal con polarización derecha (APD) de una con polarización izquierda (API).
- Trazar los diagramas de radiación de ambos tipos de polarización y calculara el AHPM.
- Hallar la ganancia de las antenas y comparar el valor obtenido con el teórico.
- Calcular la relación axial de la antena helicoidal.

Fundamento teórico

Polarización Circular

Todas las antenas vistas anteriormente son antenas con polarización lineal, en el caso de las antenas con alambres rectos, como los dipolos, dipolos plegados y Monopolos. El campo eléctrico tiene la misma orientación del alambre, por ejemplo, un dipolo que transmite en posición horizontal, el campo E esta en ese plano y el campo H en el vertical. La misma antena recibe mejor las ondas cuyo campo E esta en el plano horizontal.

La antena de cuadro también esta polarizada linealmente. Por ejemplo, una antena de cuadros de onda completa alimentada en su parte inferior se comporta en cierto modo, como un dipolo horizontal y produce una onda polarizada horizontalmente, y si pasamos la alimentación de la parte inferior al lado derecho o izquierdo, la onda resultara polarizada verticalmente.

Una guía de ondas rectangular también transmite una onda polarizada linealmente. Cuando en las practicas anteriores se realizaron las mediciones en el plano E y H, se comprobó que tanto la antenna receptora como la transmisora deben tener la misma polarización. Si ambas antenas están alineadas y ajustadas para la misma polarización, la señal se recibirá correctamente. No obstante, si luego se rota 90° una de las antenas, solo se recibirá una señal débil debido al aislamiento por polarización cruzada. En teoría dicho aislamiento debería ser infinito y no tendría que recibirse ninguna señal. Pero en la práctica, el aislamiento por polarización cruzada no es perfecto.

La polarización de una antenna también puede ser elíptica o circular. La polarización elíptica es el resultado de la combinación de dos vectores perpendiculares que representan los campos eléctricos, es posible imaginar ambos vectores como dos ondas polarizadas linealmente, que tienen la misma frecuencia y que se desplazan en igual dirección. La relación de fase entre esas dos ondas, así como sus amplitudes, puede tomar valores diferentes. Si ambos vectores tienen la misma amplitud y están desfasados exactamente 90° , se tiene una polarización circular. Si la amplitud de uno de los vectores es igual a cero, la polarización resulta lineal. 'Por esto las polarizaciones lineales y circular son casos especiales de la polarización elíptica'.

Para lograr la polarización circular, es necesario que el campo eléctrico rote rápidamente. Hay diferentes formas de lograr esto:

Una manera es transmitir dos ondas desfasadas 90° , una polarizada verticalmente y la otra polarizada horizontalmente.

Otra forma es enviando una onda eléctrica a lo largo de una hélice de dimensiones apropiadas. Al desplazarse a lo largo de esa hélice, la onda produce una rápida rotación del campo eléctrico giratorio. Este es el principio que se utiliza en las antenas helicoidales.

La rotación del campo eléctrico puede ser horaria o anti horaria. Si los dedos de su mano siguen la dirección de rotación cuando el pulgar apunta en dirección a la polarización, se tiene la polarización circular derecha (horaria). La rotación en sentido inverso da origen a la polarización circular izquierda (anti horaria).

Con la polarización circular el efecto de aislamiento por polarización cruzada es muy importante. Una antenna con polarización circular derecha no puede recibir una señal con polarización circular izquierda y viceversa. Sin embargo, cada antenna puede recibir, con cierta atenuación de una señal polarizada con cualquier orientación.

Aunque la polarización lineal es perfectamente adecuada para muchas aplicaciones, la polarización circular resulta mucho más útil en ciertos tipos de comunicaciones. Por ejemplo, el caso de las telecomunicaciones por satélite, donde resulta difícil mantener una orientación constante de la antenna. Si se usara

la polarización lineal, se tendría un desvanecimiento excesivo. Con la polarización circular, la intensidad de la señal recibida es completamente constante, a pesar de que la orientación de la antena del satélite cambie.

Antenas helicoidales

La Figura 8.1, nos muestra una antena con disposición axial, es decir, una antena helicoidal diseñada para tener un diagrama de radiación de haz pincel orientado a lo largo del eje de la hélice y opuesto al plano de tierra.

Las antenas helicoidales de este tipo son muy útiles en numerosas aplicaciones además de las propiedades de su diagrama de radiación antes mencionadas. Estas antenas presentan un gran ancho de banda y una impedancia de entrada de 120 a 140Ω.

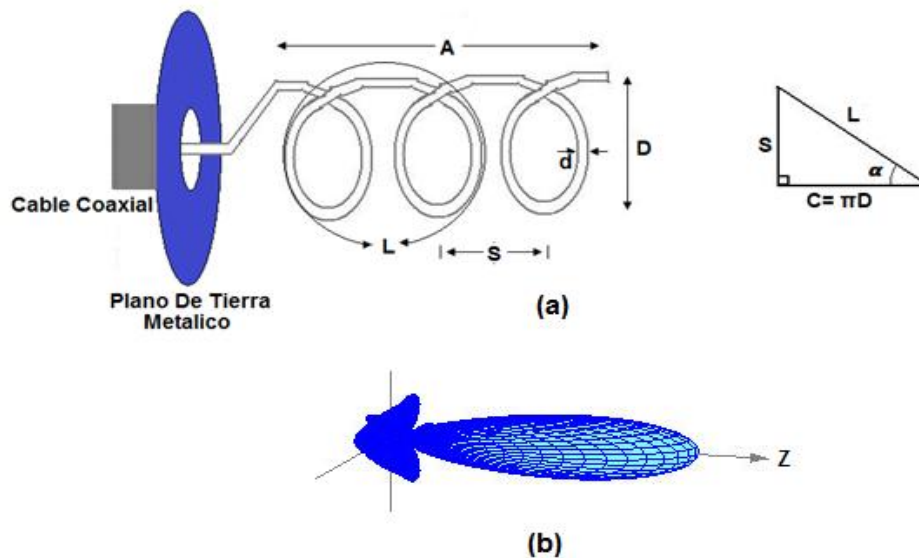


Figura 8.1 Antena helicoidal con disposición axial

Las letras utilizadas para describir la hélice son las siguientes:

- N = número de espiras
- S = distancia entre espiras = $C \tan \alpha$
- A = longitud axial = NS
- D = diámetro de la hélice
- d = diámetro de conductor
- C = circunferencia = πD
- L = longitud de una espira
- α = ángulo de avance = $\tan^{-1}(S/C)$

La hélice radiara en la disposición axial, cuando su circunferencia este en el orden de una longitud de onda. Se puede utilizar una gama de frecuencias muy ancha, dicha gama corresponde a:

$$\frac{3}{4}\lambda < C < \frac{4}{3}\lambda$$

La onda sinusoidal se desplaza a lo largo de la hélice desde el plano de tierra hacia el extremo opuesto. Por esta razón, la antena helicoidal se llama antena de onda progresiva.

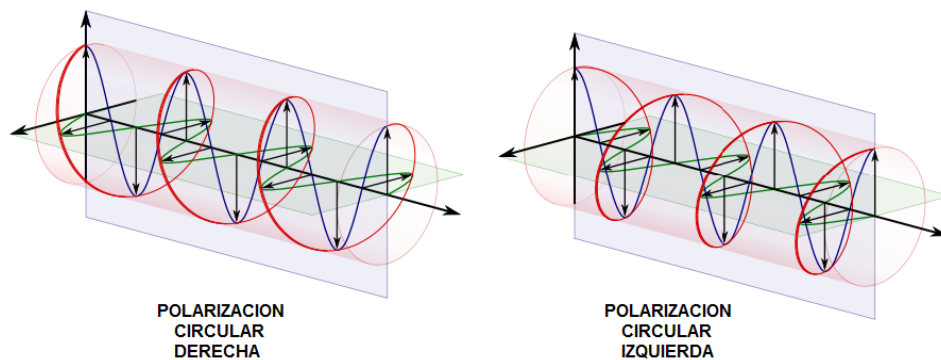


Figura 8.2 Diagrama de polarización antena helicoidal.
Fuente: http://en.wikipedia.org/wiki/Circular_polarization#Left.2FRight

La dirección del bobinado de la hélice, determina la dirección de polarización. Si se mira la hélice desde el extremo del plano de tierra, un bobinado hecho en sentido horario produciría una polarización circular derecha, mientras que un bobinado fabricado en sentido anti horario provocara una polarización circular izquierda.

Relación Axial y ganancia

Cuando se recibe una señal con polarización circular, la respuesta de una antena helicoidal debe idealmente permanecer constante durante la rotación del campo eléctrico de la señal.

Para visualizar lo anterior, imagine una antena polarizada linealmente, por ejemplo un dipolo utilizado para la transmisión y una antena helicoidal para la recepción. La polarización de la señal transmitida se puede cambiar rotando el dipolo en un determinado ángulo. Una antena helicoidal ideal debe producir la misma respuesta para todas la orientaciones del dipolo. En toda la polarización.

Sin embargo como la hélice tiene una longitud limitada la antena resulta levemente asimétrica. Por otro lado, la antena helicoidal responde mejor a ciertas polarizaciones que otras.

La medida de la respuesta de una antena helicoidal a las diferentes polarizaciones se le llama RELACION AXIAL, también conocida como circularidad. Esta se define como el cociente entre la amplitud con la polarización que entrega la respuesta máxima y aquella con polarización que proporciona la respuesta mínima. Una antena que responde igual a todas las polarizaciones tiene una relación axial de 1 ó 0 dB.

$$\text{La Relacion Axial viene dada por: } RA = \frac{2N + 1}{2N}$$

donde RA, es la realcion axial y N, es el numero de espiras de la helice.

La relación axial se puede medir mediante la transmisión entre una antena polarizada linealmente y la antena helicoidal. Rotando una de las antenas y midiendo la amplitud máxima y mínima, la relación axial se puede calcular directamente con el cociente entre esas dos amplitudes.

Idealmente, una antena helicoidal tiene una relación axial entre 1 y 1,1(0 y 0.83dB). No obstante para obtener estos resultados, el extremo abierto de la hélice debe tener una cierta conicidad. En la práctica, para una hélice de diámetro constante, es frecuente encontrar relaciones axiales en el orden de 1,12(1dB).

La Ganancia de una antena helicoidal se puede expresar en forma empírica como:

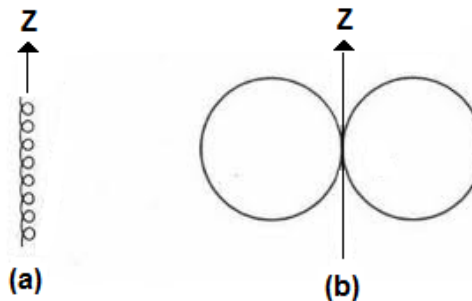
$$G = 8.3 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^{[(N+2)^{1/2}-1]} \cdot \left(\frac{NS}{\lambda} \right)^{0.8} \cdot \left[\frac{\tan(12.5^\circ)}{\tan(\alpha)} \right]^{(N/2)^{1/2}}$$

Modo normal de radiación

Es posible fabricar una antena helicoidal con un diagrama de radiación totalmente diferente, tal como se puede ver en la Figura 8.2. Dicha antena opera en modo normal de radiación, es decir, la dirección de radiación máxima es normal al eje de la antena.

Para una operación en modo normal, la circunferencia de la hélice debe ser pequeña comparada con la longitud de onda. Esto permite que la distribución de

corriente sea casi uniforme en amplitud y fase a lo largo de la hélice. Este tipo de hélice es eléctricamente pequeña y de bajo rendimiento.



(a) geometría del modo normal, (b) diagrama de radiación

Figura 8.3 Antena helicoidal en modo normal

Radomos

Las antenas que utilizaremos en el laboratorio están protegidas por un Radomo. Los radomos, o radar-domos, son cúpulas protectoras para las antenas de ondas milimétricas o microondas. Estas cúpulas están diseñadas para cubrir las antenas, y en general, se fabrican con dieléctricos de bajas pérdidas y espesores muy inferiores a una longitud de onda.

Debido a las reflexiones, refracciones y pérdidas, un Radomo modifica las características eléctricas de la antena que cubre. Normalmente, esa modificación crea una cierta distorsión del diagrama de radiación, las características como ganancia, abertura, niveles de los lóbulos laterales y polarización pueden resultar alteradas. En el caso de nuestras antenas de prueba, la presencia del Radomo reduce ligeramente la anchura del haz de potencia mitad e incrementa los niveles de los lóbulos laterales.

Procedimiento:

A. Materiales:

- Generador RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Mástil para antena con clips horizontales
- Mástil para antena con anillo de bloqueo
- Antena de bocina de abertura grande

- Antena de bocina de abertura pequeña
- Adaptador de guía de ondas
- Porta guías plástico
- Antenas helicoidales con polarización (APD y API)
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecte los cables de acuerdo a la Figura 8.4

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

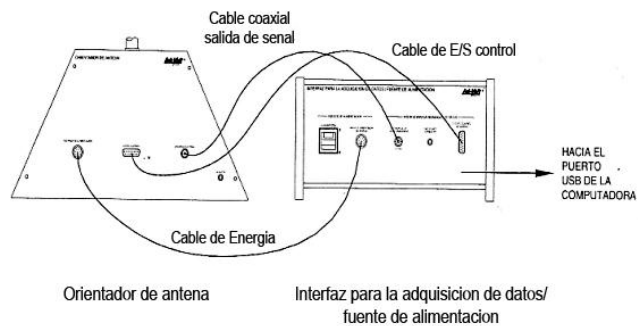


Figura 8.4 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté una antena de bocina de abertura grande en el soporte de transmisión mediante el anillo de bloqueo, utilice el portaguía de plástico para orientar la antena en el plano E. (ver Figura 8.5). Conecte el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección *oscilador 10GHz* del Generador RF, luego conecte la antena.

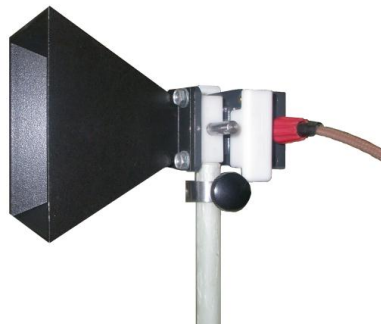


Figura 8.5 Bocina de abertura grande plano E, Tx.

D. Instalé la antena de bocina de abertura pequeña en el soporte deslizante del ORIENTADOR DE ANTENA, de tal manera que quede orientada con polarización en el plano E (Figura 8.6). Empleando el cable tipo SMA mediano, conecte la antena receptora a la entrada RF, ubicada en la parte superior del orientador de antena.



Figura 8.6 Bocina abertura pequeña plano E, Rx.

Utilice el soporte deslizante como se observa en la Figura 8.6, para asegurarse de que la abertura de la antena este alineada con el centro de rotación del ORIENTADOR DE LA ANTENA.

E. Separé las antenas a una distancia de $r=1.5\text{m}$. Luego ajústelas para que estén a la misma altura y enfrentadas .Figura 8.7

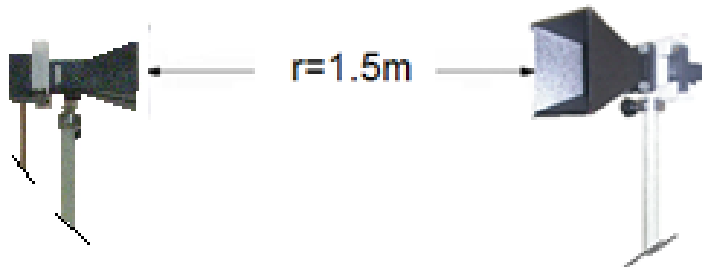


Figura 8.7 Antenas de bocina enfrentadas a una distancia $r=1.50\text{cm}$

F. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	10GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador RF y la fuente de alimentación.		

G. Coloque el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHz del generador de RF en la posición EMITE.

H. Ajuste el nivel de la señal. Utilizando el control de atenuación



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

I. Inicie la primera adquisición, después de completarla coloque el interruptor POTENCIA RF del generador RF en la posición NO EMITE. Almacene el diagrama de radiación como plano E en un nuevo documento (Document1); si es necesario agregue comentarios utilizando el cuadro de resumen de información para identificar el diagrama. (*tenga este diagrama como referencia para posteriores cálculos*).

J. Retire y cambie el mástil de la antena receptora por uno que tenga clips horizontales e instale una antena helicoidal con polarización derecha (APD), empleando el cable tipo SMA mediano, conecte la antena receptora a la entrada RF ubicada en la parte superior del orientador de antena. (ver Figura 8.8).

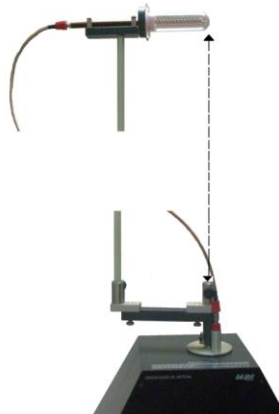


Figura 8.7 Antena helicoidal (APD).

Asegúrese de que el extremo de la antena este alineado con el centro de rotación del *ORIENTADOR DE ANTENA*.

K. Separé las antenas a una distancia de $r=1.5\text{m}$. luego ajústelas para que estén a la misma altura y enfrentadas .Figura 8.9

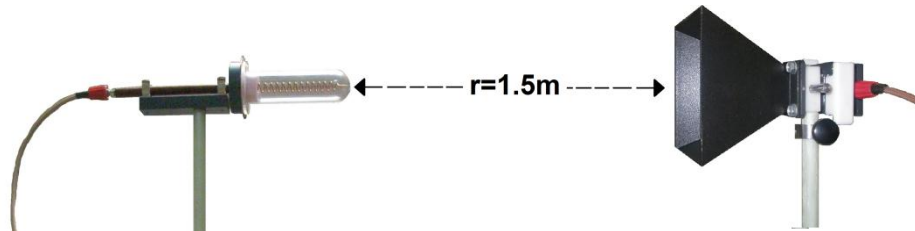


Figura 8.9 Antenas enfrentadas a una distancia $r=1.5\text{m}$

L. No modifique el nivel de atenuación y realice una nueva adquisición, almacene este diagrama de radiación en un nuevo Documento2 como plano E, ajuste su PMS a 0° .

M. Giré la antena transmisora para polarizarla Horizontalmente y que quede orientada según el plano H. Mantenga el nivel de atenuación y realice otra adquisición.

N. Almacené este diagrama como plano H en el mismo Documento2, y ajuste su PMS a cero grados.

O. Comparé las amplitudes de los diagramas en los planos E y H del Documento2. Analice su orientación según cada plano y explique, ¿Por qué no fue necesario rotar la antena receptora en el plano H?

P. Retire y cambie nuevamente la antena receptora por una antena helicoidal con polarización izquierda (API), mantenga el mismo nivel de atenuación que se utilizó en la adquisición anterior. Repita los pasos (J al M), almacene los plano E y H de este montaje en un nuevo Documento3.

Ganancia Y AHPM De Una Antena Una Helicoidal

Q. Calcule $AHPM$ para la antena(APD):

$$AHPM_E = \text{_____}^\circ$$

$$AHPM_H = \text{_____}^\circ$$

R. Antena (API):

$$AHPM_E = \text{_____}^\circ$$

$$AHPM_H = \text{_____}^\circ$$

S. Calcule la ganancia general de las antenas helicoidales:

$$G = 8.3 \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^{[(N+2)^{1/2}-1]} \cdot \left(\frac{NS}{\lambda} \right)^{0.8} \cdot \left[\frac{\tan(12.5^\circ)}{\tan(\alpha)} \right]^{(N/2)^{1/2}}$$

Y si las dimensiones de la antena helicoidal son:

$$D = 8.4mm$$

$$N = 15 \text{ espiras}$$

$$S = 6.1mm$$

$$\alpha = 13^\circ$$

$$G = \text{_____}$$

$$G(dB) = 10 \log G = \text{_____}dB$$

T. Utilice la antena de referencia, que en este caso es la antena de bocina de abertura pequeña para medir la ganancia de las antenas helicoidales en polarización derecha e izquierda.

Nivel máximo de la señal en la bocina de abertura pequeña:

$$NMS_{\text{planoE bocina}} = P_{Ref} = \text{_____}(dB)$$

Nivel máximo de señal de la antena helicoidal (APD):

$$NMS_{planoE} helice APD = P_{APD} = \text{_____}(dB)$$

Nivel máximo de señal de la antena helicoidal (API):

$$NMS_{planoE} helice API = P_{API} = \text{_____}(dB)$$

U. Observé las siguientes formulas y note que para lograr medir las ganancias especificas de cada tipo de polarización de las antenas helicoidales (APD y API), primero debemos obtener la ganancia de referencia de la antena de bocina de abertura pequeña (G_{Ref}), que es nuestra antena de referencia, y luego calcular la ganancia de cada antena hélice.

$$G_{APD} = P_{APD} - P_{Ref} + G_{Ref} + 3dB = \text{_____}(dB)$$

$$G_{API} = P_{API} - P_{Ref} + G_{Ref} + 3dB = \text{_____}(dB)$$

V. Hallé la ganancia de la bocina de abertura pequeña, pero para poder obtener este valor, debemos conocer el valor de la ganancia de bocina de abertura grande, ya que la ganancia de la bocina pequeña depende también de un valor de referencia, que para el caso es el de la bocina de abertura grande.

W. Si usted aun guarda este valor de ganancia de la bocina de abertura grande, omita los siguientes pasos, y continúe en la etapa X.

Como ya se vio en la pasada práctica de antenas de bocina piramidal de abertura grande, la ganancia verdadera de una antena se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{Rec}}{P_o}} \quad (1)$$

Donde G Es la ganancia

r Es la distancia entre las antenas

P_{Rec} y P_o Son las potencias recibida y transmitida, respectivamente

λ Es la longitud de onda en el espacio libre (en unidades iguales a r).

Si usted en la práctica de bocinas piramidales recuerda haber obtenido este valor, omita los siguientes pasos y continúe en la etapa x, si no, siga cuidadosamente las siguientes instrucciones.

Los siguientes pasos permitirán determinar las potencias recibida P_{Rec} y transmitida P_0 de la ecuación (1):

- 1) Retiré las antenas de sus mástiles y desconéctelas de los cables tipo SMA.
- 2) Seleccione del set de antenas dos adaptadores de guía de onda para antenas de bocina.
- 3) Conecte los adaptadores entre sí, observe la Figura 8.10.
- 4) Conecte un cable tipo SMA mediano en la entrada RF, ubicada en la parte superior del *orientador de antena* y luego a uno de los extremos de un adaptador.
- 5) Conecte el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección OSCILADOR 10GHz de generador RF, y luego a uno de los extremos del otro adaptador.
- 6) En el GENERADOR RF, coloque el interruptor de POTENCIA RF en la posición EMITE.
- 7) Optimice la atenuación, utilizando el control de atenuación.
- 8) Anote la potencia de la señal recibida.

$$P_0 = \text{____}(dB)$$

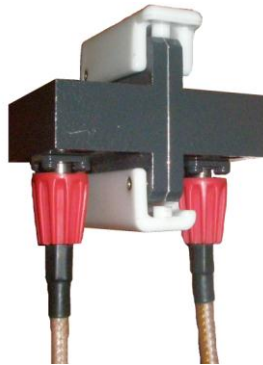


Figura 8.10 Acoplamiento de los adaptadores de guía de onda a los cables coaxiales tipo SMA.

9) Coloque el interruptor de POTENCIA RF en la posición NO EMITE y desconecte ambos adaptadores.

10) Realicé un montaje para dos antenas de bocina piramidal de abertura grande, tanto el transmisor como en el receptor. Y sepárelas $r=1.5\text{m}$. Observe la siguiente Figura.

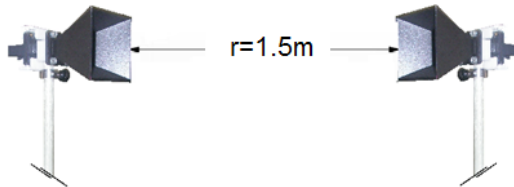


Figura 8.11 Antenas de bocina piramidal enfrentadas.

Utilice el soporte deslizante como se observa en la Figura 8.12, para asegurarse de que la abertura de la antena este alineada con el centro de rotación del ORIENTADOR DE LA ANTENA.



Figura 8.12 Montaje de la antena receptora

11) Coloque el interruptor de POTENCIA RF en la posición EMITE, no modifique el nivel de atenuación.

12) Anote la potencia de la señal recibida.

$$P_{Rec} = \text{____}(dB)$$

13) Debido a que los resultados tomados de estas potencias se encuentran en decibeles, la ecuación (1), deberá modificarse un poco para poder trabajar con estas unidades, utilizando esta nueva fórmula encuentre la ganancia de una antena de bocina de abertura grande

$$G = 10 \log_{10} 4\pi r - 10 \log_{10} \lambda + (P_{Rec} - P_0)(dB)$$

$$G = \text{____}(dB)$$

14) Ya teniendo el valor de la ganancia de una antena de bocina de abertura grande, ahora si tome este valor como la ganancia de referencia para poder hallar el valor de la ganancia de una antena de bocina de abertura pequeña que es nuestro principal objetivo.

X. Ahora bien, teniendo como referencia la ganancia de la bocina grande ($G_{ref}(dB)$) y siguiendo la ecuación (2), podrá encontrar la ganancia de una bocina de abertura pequeña y posteriormente calcular también la ganancia de las antenas helicoidales.

Utilizaremos el siguiente método de sustitución para hallar la ganancia de la bocina de abertura pequeña (G_{prueba}):

$$G_{prueba} = P_{prueba}(dB) - P_{ref}(dB) + G_{ref}(dB) \quad (2)$$

Ya tenemos el valor de ($G_{ref}(dB)$), pero también necesitamos la potencia de referencia ($P_{ref}(dB)$), de esa misma antena. Para lo que realizaremos el siguiente montaje. (Ver Figura 8.13)

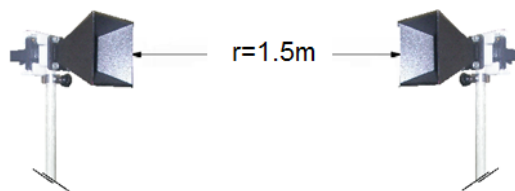


Figura 8.13. Montaje de dos antenas de bocina de abertura grande.

Utilicé el control de atenuación para optimizar la recepción de la señal y anote la potencia recibida.

$$P_{Ref} = \text{____}(dB)$$

Retire la antena de bocina de abertura grande Rx y reemplácela por una bocina de abertura pequeña, no modifique el nivel de atenuación. Anote la potencia recibida:

$$P_{prueba} = \text{_____}(dB)$$

Calcule la ganancia de la antena de bocina de abertura pequeña (G_{prueba}).

$$G_{prueba} = P_{prueba}(dB) - P_{ref}(dB) + G_{ref}(dB)$$

$$G_{prueba} = \text{_____}$$

$$G_{prueba}(dB) = \text{_____}(dB)$$

Esta $G_{prueba}(dB)$ y $P_{prueba}(dB)$, ahora se transforman para nosotros en la Ganancia de referencia(G_{Ref}) y la potencia de referencia($P_{ref}(dB)$), que necesitábamos al principio para calcular la ganancia de las antenas helicoidales:

$$G_{APD} = P_{APD} - P_{Ref} + G_{Ref} + 3dB = \text{_____}(dB)$$

$$G_{API} = P_{API} - P_{Ref} + G_{Ref} + 3dB = \text{_____}(dB)$$

Cuando se utiliza una antena polarizada linealmente para obtener una señal con polarización circular, como es el caso de nuestra bocina de abertura pequeña y la hélice, una parte de esta señal no se recibe porque la mitad de la potencia puede resultar perdida, por lo tanto, para obtener la ganancia real de una antena helicoidal, al resultado se le debe adicionar 3dB.

Circularidad Y Relación Axial

Y. Retiré ambas antenas, reemplace el mástil Tx, por uno que tenga clips horizontales y luego monte una antena helicoidal con polarización derecha (APD), reemplace también el mástil Rx por otro que tenga clips horizontales e instale la otra antena helicoidal (APD).

Separe y enfrente las antenas a una distancia $r=1.5m$, optimice el nivel de atenuación y realice una nueva adquisición. Almacene el diagrama como plano E en un nuevo Documento4.

Reemplace la antena Tx por una antena helicoidal con polarización izquierda (API), realice otra adquisición y almacene este diagrama de radiación como plano H en el Documento4

AA. Compare los diagramas de radiación de los planos E y H del Documento4, ¿Se esperaban estos resultados?

BB. Calcular la relación axial de las antenas Helicoidales:

$$RA = \frac{2N + 1}{2N}$$

$$RA = \underline{\hspace{2cm}}$$

$$RA = \underline{\hspace{2cm}}(dB)$$

CC. Otra forma de medir la relación axial de una antena helicoidal, es la siguiente:

Retire la antena receptora, y reemplace el mástil con clips horizontales por un mástil con anillo de bloqueo. Monte una antena de bocina de abertura grande en el soporte deslizante del ORIENTADOR DE ANTENA y conecte la antena receptora a la entrada RF, ubicada en la parte superior del orientador de antena, empleando el cable tipo SMA mediano. No modifique la distancia entre ellas y asegúrese de que estén enfrentadas, ajuste el nivel de atenuación a 5dB aproximadamente, y anote el valor de la señal recibida.

$$\text{señal}_1 = \underline{\hspace{2cm}}(dB)$$

Gire la antena de bocina 90°, como si estuviera cambiando el plano de radiación, no modifique el nivel de atenuación ni la distancia entre ella, asegúrese de que se encuentran enfrentadas. (Ver Figura 8.14), anote el valor exacto de la señal recibida.

$$\text{señal}_2 = \underline{\hspace{2cm}}(dB)$$

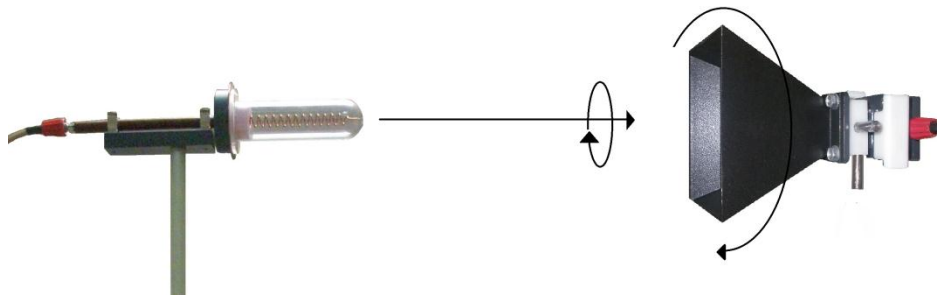


Figura 8.14 Rotación de la antena polarizada linealmente en un plano perpendicular al eje de la antena helicoidal.

DD. Observe la antena helicoidal, en el extremo del Radomo hay una referencia de una línea central, utilice esta línea para la orientación en la siguiente prueba; rote la hélice 45° como se puede ver en la Figura 8.15.

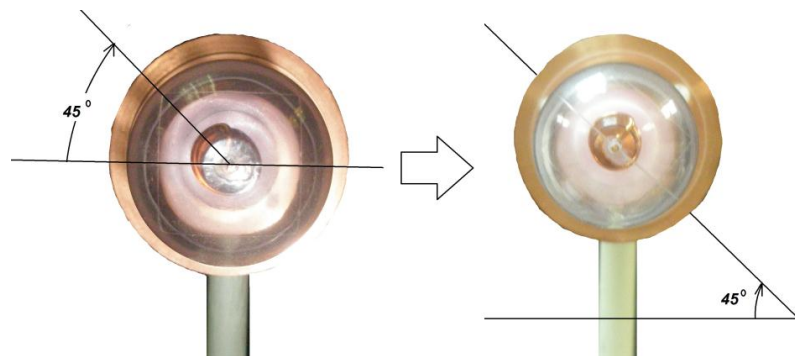


Figura 8.15 Rotación de la antena helicoidal 45°

Mantenga las antenas enfrentadas, no modifique el nivel de atenuación y anote el valor de la señal recibida en este plano.

$$\text{señal}_3 = \text{____}(\text{dB})$$

Ahora vuelva a rotar la antena de bocina 90° , y anote el valor de la señal recibido en este plano.

$$\text{señal}_4 = \text{____}(\text{dB})$$

Tomando el más alto de estos valores como máximo y el más bajo como mínimo, determine la relación axial.

$$\frac{\text{señal}_{\max}}{\text{señal}_{\min}} = \text{señal}_{\min}(\text{dB}) - \text{señal}_{\max}(\text{dB})$$

$$RA = \underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}(\text{dB})$$

Preguntas:

✓ ¿Cuál es la función que cumple un Radomo en una antena helicoidal?

✓ ¿Defina relación axial?

✓ ¿Explique la diferencia entre el modo normal y el modo axial?

✓ ¿Las antenas helicoidales pueden recibir señales con cualquier tipo de polarización lineal?

✓ ¿Defina polarización circular?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.9 PRÁCTICA N° 9

Antena Yagi-Uda

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con los elementos parásitos de la antena Yagi-Uda, construirá esta antena y analizará el efecto que tiene cada uno de estos elementos parásitos en este tipo de antenas.

Objetivos específicos

- Analizar la función de los elementos reflector y director de una antena Yagi-Uda.
- Trazar los diagramas de radiación a medida que se van adicionando elementos en la antena Yagi-Uda.
- Calcular las AHPM y la ganancia tomando como referencia un dipolo de media onda.
- Observar la influencia del aumento de la cantidad de elementos y como esto influye en el mejoramiento de la ganancia para este tipo de antena.

Fundamento teórico

Antena Yagi-Uda.

Esta es una de las antenas más comunes y populares en el mercado, fue inventada en Japón 1926 y su nombre proviene del investigador S. Uda y el profesor H. Yagi, quienes experimentaron con estas estructuras en redes con elementos parásitos.

En algunas de las prácticas anteriores, se mencionaron las antenas que pueden considerarse fabricadas con múltiples elementos, donde cada elemento tiene su propia distribución de corriente. El diagrama de radiación de una antena Yagi, es el resultado de la adición o anulación de las distribuciones de corriente.

Cuando trabajamos con la antena dipolo plegado, se estudio la distribución de corriente de ambos alambres paralelos, que se cerraban adicionándose entre sí para mejorar el diagrama de radiación en determinadas direcciones. En la práctica de las antenas de cuadro se demostró, que las distribuciones de corriente en diferentes partes del cuadro y ubicadas en la misma distancia unas de otras, se sumaban o cancelaban para producir el diagrama de radiación. Por último en las antenas helicoidales se observo que los efectos de las ondas que se desplazan se suman de un bucle a otro de la hélice para producir un diagrama de radiación de haz pincel.

Estos son todos los ejemplos de las consecuencias debidas a los elementos de la antena que están conectados en ciertos tipos de redes de alimentación.(efectos de la red de antenas activa).

El efecto de la red, también se puede ver utilizando los elementos parásitos de antenas (estructuras metálicas o alambres que no están conectados a la red de alimentación). En este caso el efecto de la red se puede considerar como la corriente inducida por el campo electromagnético en los elementos parásitos de la antena. Estos últimos se excitan gracias al acoplamiento con los campos cercanos provenientes, de los elementos alimentados.

Principios básicos de la antena Yagi.

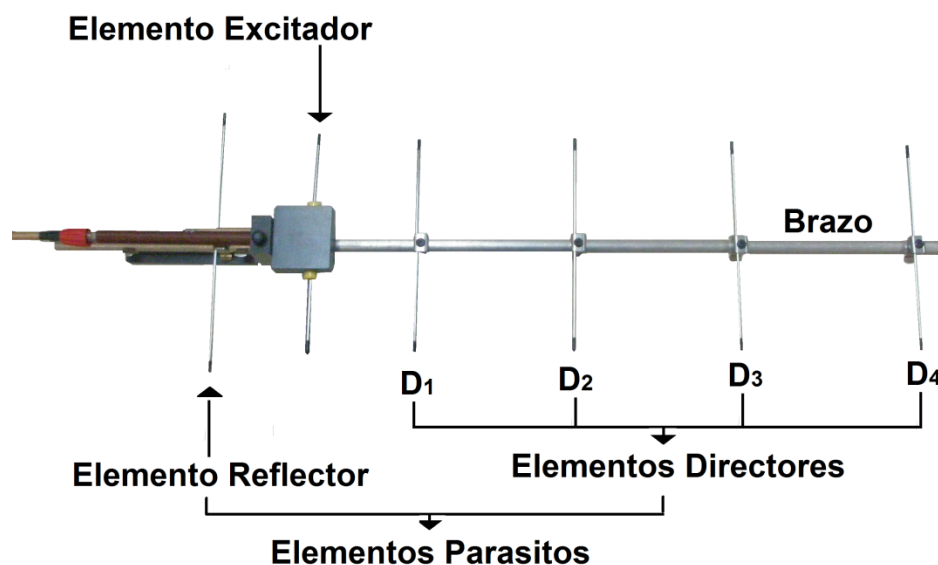


Figura 9.1 Antena Yagi-Uda de seis elementos

Una antena Yagi consiste en los siguientes elementos:

- **Elemento Excitador o activo:** se encuentra conectado a la red de alimentación, este puede ser un dipolo de media onda, un dipolo plegado o una antena de cuadro.
- **Elemento Reflector:** es más largo que el elemento excitador, su función es reducir la intensidad de la señal que está en su dirección, e incrementa la que está en dirección opuesta.
- **Elementos Directores:** son elementos más cortos que el elemento excitador, su función es la de incrementar la intensidad del campo en su dirección.

Normalmente el elemento reflector es alrededor de 5% más largo que el elemento excitado, mientras que el primer elemento director es aproximadamente 5% más corto que el mismo componente activo.

Los espaciamientos óptimos para una directividad máxima entre los componentes reflector, activo y el primer elemento director están entre 0.15λ y 0.25λ .

Por lo general cuando se emplean varios elementos directores, los elementos delante del primer director, se vuelven algo más cortos y están más espaciados unos de otros. La posición donde se instalen el elemento reflector y el primer director, son las más importantes por que determinan la distancia de los otros componentes directores y además son los que tienen el mayor efecto en el diagrama de radiación de la antena.

El efecto del elemento excitador sobre los componentes parásitos más próximos es la inducción de corriente, de manera que el campo eléctrico inducido en esos elementos parásitos resulte más o menos igual en amplitud y opuesto en fase al campo incidente.

Con más de un director se logra un aumento importante en la ganancia. Sin embargo ese beneficio se reduce gradualmente con el aumento del número de dichos elementos. Esto se debe a que las corrientes inducidas en los componentes directores que se van alejando de elemento activo, disminuyen y en consecuencia esto, hace decrecer la contribución de los mismos en la ganancia. (Ver Figura 9.2).

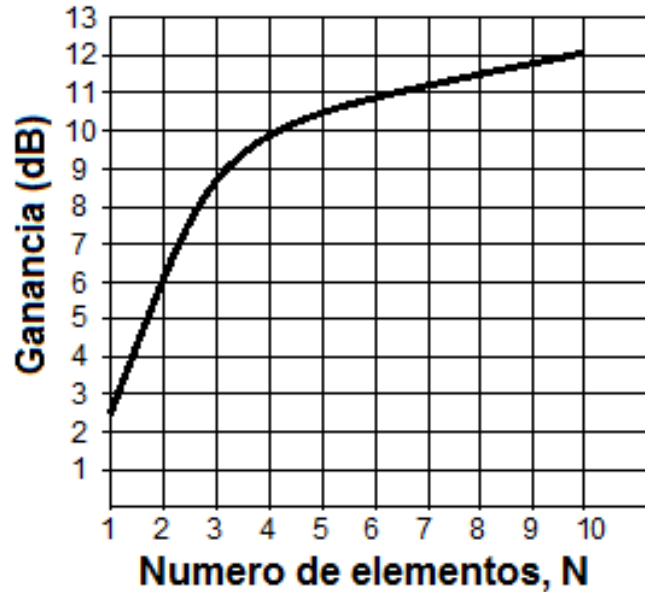


Figura 9.2 Curva de la ganancia en función del número de elementos de una antena Yagi

NUMERO DE ELEMENTOS	GANANCIA
3	87
4	99
5	105
6	111

Tabla 9.1 Ganancia de una antena Yagi según el número de elementos
(Espaciamento= 0.15λ)

Impedancia de una antena Yagi

La impedancia de entrada de una antena Yagi está en función de la impedancia de entrada del elemento excitador, pero resulta muy influenciada por los elementos parásitos. Para una red de tres elementos se puede considerar una impedancia de entrada de aproximadamente 25Ω .

Procedimiento:

A. Materiales:

- Generador RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Mástil para antena con clips horizontales
- Porta guías plástico
- Dipolo de media onda
- Adaptador de 90°
- Brazo de aluminio
- Alambres para armar una antena Yagi
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 9.3

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

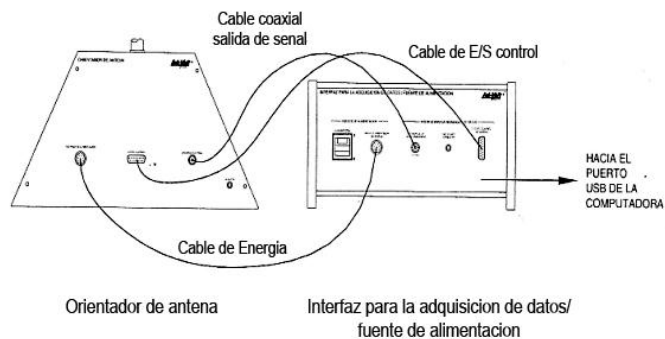


Figura 9.3 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté la antena Yagi en el mástil con clips horizontales, orientela para adquirir el diagrama de radiación en el plano E y conéctela en la posición OSCILADOR de 1 GHz, del Generado RF, utilizando el cable tipo SMA mas largo.(ver Figura.9.4)



Figura 9.4 Antena Yagi polarizada horizontalmente

D. Utilicé el brazo de aluminio para fijar el adaptador de 90°,ajustelo mediante el tornillo de sujeción ,monte una antena dipolo $\lambda/2$ en la parte superior del adaptador de 90° y con el tornillo sujete el dipolo. Inserte el mástil con clips horizontales en el soporte deslizante del ORIENTADOR DE ANTENA e instale la antena.(Figura 9.5).

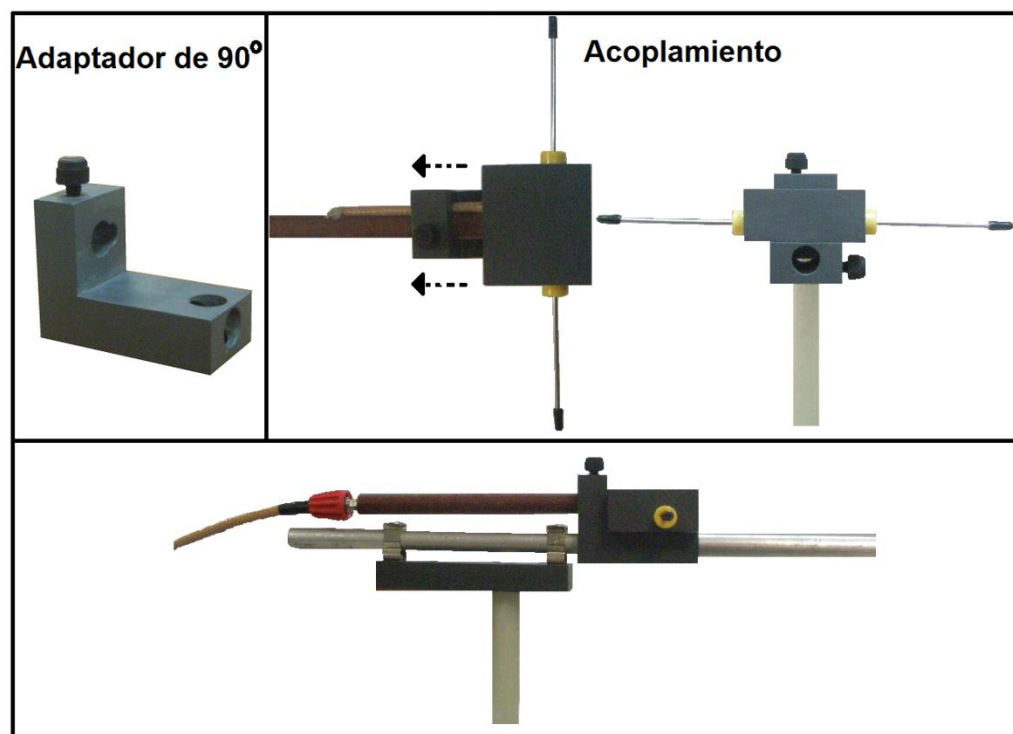


Figura 9.5 Montaje del dipolo en el brazo metálico

E. Separe y enfrente las antenas una distancia $r=1.5m$

F. Generador RF:

MODO DEL OSCILADOR	1GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

G. Coloque el interruptor de POTENCIA RF del lado del oscilador de 1 GHz en la posición EMITE y optimice la recepción de la señal con el atenuador, aproximándola a un valor de 3dB. (trate de mantener este nivel de atenuación durante toda la realización de la practica)

Inicie una adquisición y almacene el diagrama en un nuevo Documento1, esta adquisición se debe usar como punto de referencia para las siguientes etapas.

H. Escoja uno de los alambres de construcción para una antena Yagi de una longitud= 178mm y utilícelo como elemento reflector para el montaje anterior, ajústelo a una distancia aproximada $A=0.15\lambda$ a 0.25λ , detrás del dipolo. (Ver Figura 9.6).

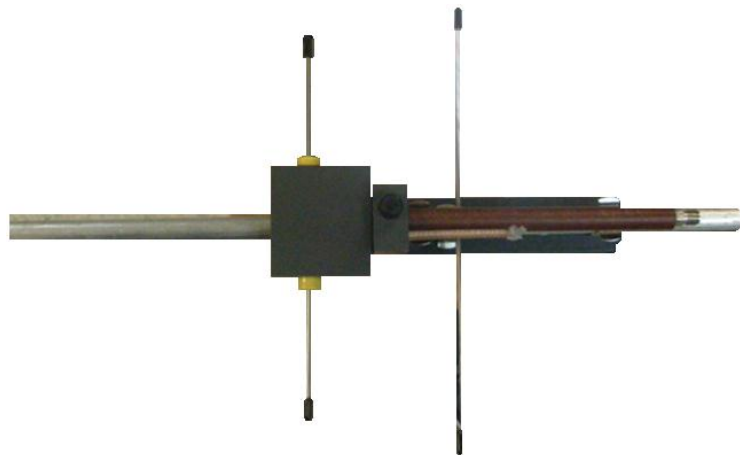


Figura 9.6 Montaje de la antena con un reflector

Utilicé el soporte deslizante como se observa en la Figura 9.7, para asegurarse de que el dipolo este alineado con el centro de rotación del ORIENTADOR DE ANTENA.



Figura 9.7. Antena alineada con el centro del orientador de antena

Inicie una adquisición y almacene el diagrama como plano E en un nuevo Documento2.

I. Retiré el alambre reflector, e instale un alambre con una longitud=146mm, utilícelo como director y fíjelo a una distancia $A=0.15\lambda$ a 0.25λ , por delante del dipolo. (ver Figura 9.8).



Figura 9.8 Montaje de la antena empleando solo un director

Realice una adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento3.

✓ Compare y analice los diagramas del reflector y director con el diagrama del Documento1.

¿Qué cambios observa en la ganancia de la antena al utilizar un reflector y a que se debe esto?

✓ ¿Cuáles son los efectos en la antena al utilizar el director, que cambios observa en el diagrama?

J. Agréguele nuevamente el reflector al dipolo para construir una Yagi-Uda de tres elementos, separe los elementos entre sí una distancia $A=0.15\lambda$.(Ver Figura 9.9)



Figura 9.9 Montaje de una Yagi, tres elementos.

Realice una nueva adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento4.

K. Un buen montaje de una antena Yagi exige la medición exacta de la longitud y la distancia de sus alambres.
Sabiendo esto, y para obtener el mejor rendimiento de nuestra antena, en las siguientes etapas nos basaremos en valores exactos para la construcción de la Yagi. (Ver Figura 9.10)

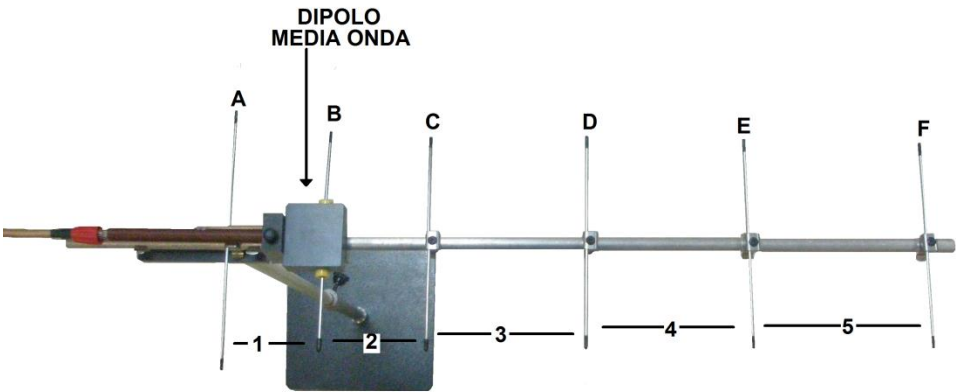


Figura 9.10 Montaje de la antena Yagi-Uda

L. Ajusté los espacios siguiendo la siguiente tabla.

Nº. Elementos	Longitud de alambres			Espaciamento	
	A	B	C	1	2
3	178mm	154mm	146mm	87mm	61mm

Tabla 9.2 Yagi de tres elementos

M. Inicie una nueva adquisición y almacene el diagrama como plano E en un nuevo Documento5.

N. Compare el resultado del Documento5 con el obtenido en el Documento4.
¿Qué cambios observa el patrón de radiación?

O. Utilice la siguiente tabla para almacenar los datos obtenidos. Anote la ganancia en dBd, para esto utilice como referencia la adquisición del Documento1. Anote la ganancia en dBi, para esto utilice la ganancia del dipolo $\lambda/2$ obtenida en prácticas anteriores.

CANTIDAD DE ELEMENTOS	GANANCIA(dBd)	GANANCIA (dBi)	$AHPM_E$	A/p
3				

Tabla 9.3 Parámetros para una Yagi de tres elementos

P. Empleé los siguientes valores de la tabla para realizar el montaje de una antena Yagi de 4 elementos.

	Longitud de alambres(mm)				Espaciamiento(mm)		
N° Elementos	A	B	C	D	1	2	3
4	178	154	146	144	87	61	85

Tabla 9.4 Yagi de cuatro elementos

Inicie otra adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento6.

CANTIDAD DE ELEMENTOS	GANANCIA(dBd)	GANANCIA (dBi)	$AHPM_E$	A/p
4				

Tabla 9.5 Parámetros para una Yagi de cuatro elementos

Q. Emplee los siguientes valores de la tabla para realizar el montaje de una antena Yagi de 5 elementos.

	Longitud de alambres(mm)					Espaciamiento(mm)			
N° Elementos	A	B	C	D	E	1	2	3	4
5	178	154	146	144	142	94	75	100	108

Tabla 9.6 Yagi de cinco elementos

Inicie otra adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento7.

CANTIDAD DE ELEMENTOS	GANANCIA(dBd)	GANANCIA (dBi)	$AHPM_E$	A/p
5				

Tabla 9.7 Yagi de cinco elementos

R. Empleé los siguientes valores de la tabla para realizar el montaje de una antena Yagi de 6 elementos.

	Longitud de alambres(mm)						Espaciamiento(mm)				
Nº Elementos	A	B	C	D	E	F	1	2	3	4	5
6	178	154	146	144	142	140	66	70	105	110	120

Tabla 9.8 Yagi de seis elementos

Inicie otra adquisición y almacénela como plano E en un nuevo Documento8.

CANTIDAD DE ELEMENTOS	GANANCIA(dBd)	GANANCIA (dBi)	$AHPM_E$	A/p
6				

Tabla 9.9 Parámetros para una Yagi de tres elementos

S. Compare cada uno de los diagramas, observe como va cambiando la ganancia junto con el diagrama de radiación, al aumentar los elementos en la Yagi.

T. ¿Los valores de la ganancia difieren de los valores teóricos?, ¿Explique?

U. Giré las antenas para obtener una orientación en el plano H, realice una adquisición y almacene este diagrama en el Documento8.

Modifique sus PMS a 0° , y seleccione las lengüetas en el software para observar las representaciones en los planos E,H y 3D.

Preguntas

✓ Explique el funcionamiento de cada elemento y cómo influye cada uno de ellos en la ganancia y directividad de la antena Yagi-Uda.

✓ ¿Porque el beneficio de adicionar directores en forma gradual en una antena Yagi decrece cuando la cantidad de elementos aumenta?

✓ ¿Cuál es la relación que existe entre una antena de cuadros un dipolo plegado, una antena helicoidal y una Yagi-Uda?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.10 PRÁCTICA N° 10

Antena De Ranura

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con los fundamentos de las redes de antenas y con un tipo de red llamada antena ranurada.

Objetivos específicos

- Aprender la importancia de la ubicación de la placa de cortocircuito en el diseño de una antena de ranuras tipo "red de onda estacionaria".
- Calcular la ganancia de la antena que se está estudiando.
- Realizar algunas modificaciones en la ranura de la guía de ondas a fin de comprender mejor cómo funcionan las redes de antenas.

Fundamento teórico

Red de antenas

A un cierto número de antenas dispuestas en el espacio e interconectadas entre sí, se le llama red de antenas o simplemente red.

Una red formada por antenas pequeñas (llamadas elementos), pueden proporcionar un rendimiento similar al de una antena grande pero sin los problemas mecánicos que tiene esta última.

Cuando se utiliza una red empleando varios elementos idénticos en lugar de uno, es posible aumentar la directividad y ganancia de la antena. Del mismo modo si ajustamos las amplitudes individuales y las fases de las señales que alimentan cada elemento, se puede obtener un diagrama de radiación de acuerdo con las necesidades del diseñador. Asimismo si cambiamos de manera dinámica las fases en el tiempo, se puede obtener un barrido del diagrama de radiación en el espacio, esto se conoce como Red en fase.

Los elementos de una red, se dejan manejar fácilmente para obtener diferentes configuraciones:

Red lineal: Consiste en ubicar antenas pequeñas o elementos, centrados a lo largo de una línea recta, con espaciamientos iguales o desiguales.

Red planar: Es una configuración que consiste en dos dimensiones de elementos situados en un plano; esta red puede ser rectangular o circular, dependiendo de la forma del área en que los elementos están dispuestos.

Red de alimentadores en fase: Es una configuración que se produce cuando la ubicación de los elementos forman una superficie no planar, similar a la nariz de un misil o una aeronave.

Función característica de la red

El diagrama de radiación de una red está determinado por diferentes factores, algunos de estos, como los tipos de elementos empleados para la orientación en el interior de la red, corresponden sólo a los elementos individuales, es decir, influyen sobre el diagrama de radiación de estos elementos individuales; otro de los factores es la configuración de la red en sí misma; es decir, la cantidad de elementos que la componen y sus posiciones, así como las amplitudes y fases de las corrientes que alimentan dichos elementos.

Instrucciones para simplificar el análisis teórico de una red dada:

El primer paso es considerar sólo los efectos de su configuración sin tener en cuenta el diagrama de radiación de los elementos individuales. Esto se puede imaginar como una red con la misma configuración que la dada pero considerando a cada uno de sus elementos como fuentes puntuales isotrópicas.

Al diagrama de radiación generado por esta red así configurada se le conoce como **función característica de la red** en estudio. Por lo tanto esta función característica representa el efecto general sobre el diagrama de radiación, debido a la adopción de una configuración específica de la red.

En el segundo paso, después de determinar la función característica de la red, se debe tener en cuenta el diagrama de radiación de cada elemento. Debido a que para obtener el diagrama de radiación completo de la red utilizamos el **patrón multiplicador**, es decir, multiplicamos el diagrama de radiación de uno de los elementos por la función característica de la red.

Ej. Al tener una guía de ondas ranurada que cuenta con seis ranuras separadas por una distancia $\lambda/2$ (ver Figura 10.1). Todas radiando con amplitud y fases idénticas.



Figura 10.1 Antena ranurada de seis elementos

El diagrama de radiación teóricamente sería:

$$\left(\begin{array}{l} \text{funcion caracteristica} \\ \text{de la red por los} \\ \text{6 elementos separados} \\ \text{por una distancia } \lambda/2 \\ \text{y radiando con amplitud} \\ \text{y fase indenticas} \end{array} \right) \times \left(\begin{array}{l} \text{diagrama} \\ \text{de radiacion} \\ \text{de una ranura} \end{array} \right) = \left(\begin{array}{l} \text{DIAGRAMA DE RADIACION} \\ \text{DE LA RED DE ANTENAS DE} \\ \text{6 RANURAS} \end{array} \right)$$

En este caso, la función característica de la red es el diagrama de radiación de las 6 fuentes puntuales isotrópicas separadas una distancia $\lambda/2$ y radiando con amplitud fase idénticas.

Ganancia de las redes de antenas

Debido a la función característica de la red, la directividad y por lo tanto la ganancia de una red, pueden ser mucho más elevadas que la de una antena de un solo elemento. Esto resulta ventajoso tanto para la transmisión como para la recepción.

Para llegar a comprender, como una red proporciona una mayor ganancia, primero consideremos una antena isotrópica de un solo elemento, radiando una cierta potencia P_1 tal como lo ilustra la Figura 10.2.

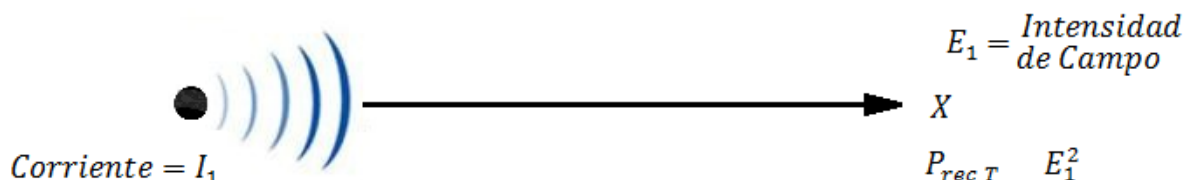


Figura 10.2 Antena de un solo elemento transmitiendo una potencia P_1

La corriente en el elemento de la antena es I_1 . En el punto alejado X , esta corriente produce una cierta intensidad de campo (voltaje) E_1 , que es proporcional a la corriente en el elemento de la antena.

La potencia recibida por una antena ubicada en el punto X , debe ser proporcional al cuadrado de la intensidad de campo total E_T en ese punto:

$$P_{rec} \propto E_T^2 = E_1^2$$

Ahora se reemplaza la antena de un solo elemento, por una red compuesta por dos elementos isotrópicos idénticos que radian la misma potencia total P_1 .

(Ver Figura 10.3).

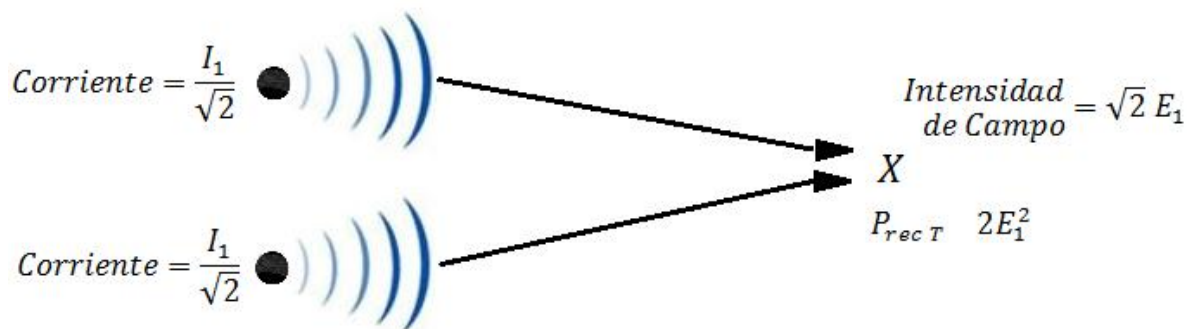


Figura 10.3 Antena de dos elementos transmitiendo una potencia P_1

Ahora la potencia radiada por cada elemento es $\frac{P_1}{2}$, es sin embargo debido a que la corriente es proporcional a la raíz cuadrada de la potencia, la corriente en cada elemento sería $\frac{I_1}{\sqrt{2}}$

La intensidad de campo en el punto X producida por cada elemento es proporcional a la corriente de dicho elemento. Por lo tanto, esa intensidad ahora es $\frac{E_1}{\sqrt{2}}$

Si las ondas provenientes de cada componente llegan al punto X perfectamente en fase, la intensidad del campo total E_T en ese punto sería igual a la suma de las intensidades de campo individuales.

$$E_T = \frac{2E_1}{\sqrt{2}} = \sqrt{2} E_1$$

Entonces la potencia total recibida sería:

$$P_{rec} \propto E_T^2 = (\sqrt{2}E_1)^2 = 2E_1^2$$

Al comparar la potencia recibida P_{rec} de las antenas de uno y dos elementos, se puede observar que el cuadrado de la intensidad de campo, ó sea E_T^2 en el punto X Duplicó su valor. Esto muestra que se doblo la potencia recibida en ese punto. Por lo tanto al implementar una red de dos elementos en lugar de uno, se duplica la ganancia de potencia de la antena.

Ahora consideremos una red compuesta por cuatro elemento isotrópicos idénticos que radian la misma potencia total P_1 (ver Figura 10.4).

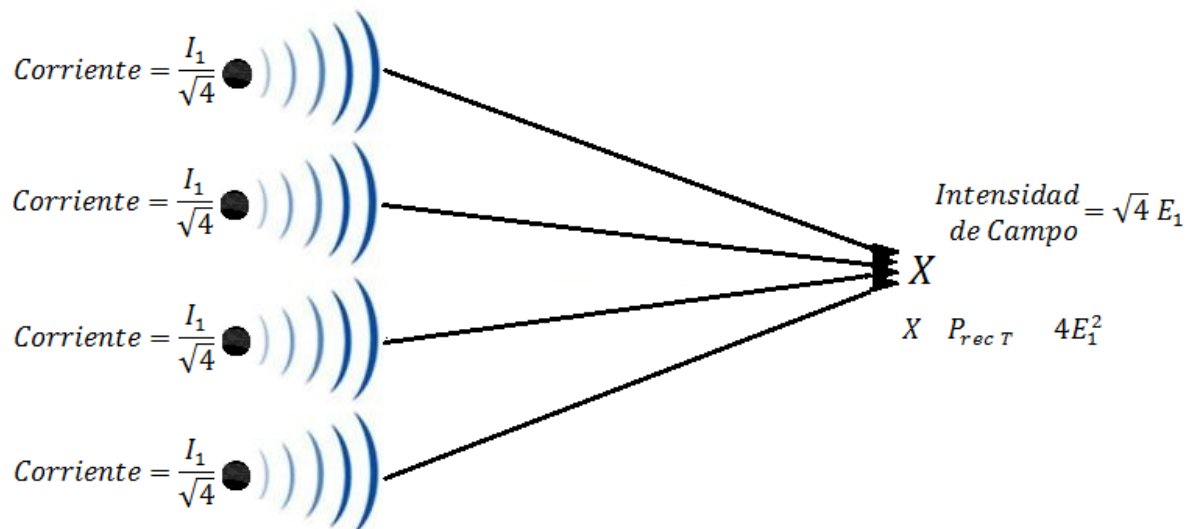


Figura 10.4 Antena de cuatro elementos transmitiendo una potencia P_1

La corriente en cada elemento resulta $\frac{I_1}{\sqrt{4}}$, entonces la intensidad de campo producida por el elemento en el punto X es $\frac{E_1}{\sqrt{4}}$, y la intensidad de campo total E_T producida por esta red de cuatro elementos seria:

$$E_T = \frac{4E_1}{\sqrt{4}} = \sqrt{4}E_1$$

Entonces la potencia total recibida seria:

$$P_{rec} \propto E_T^2 = (\sqrt{4}E_1)^2 = 4E_1^2$$

Como se puede observar el valor de la potencia recibida fue doblada nuevamente.

Las relaciones dadas en estos ejemplos son validadas solo, si se cumplen las siguientes condiciones:

1. Los elementos de la antena deben ser idénticos y tener iguales corrientes.
2. Los campos de todos los elementos de la antena deben llegar en fase al punto de recepción. *(Esto se cumple si las fases de las corrientes de cada elemento son idénticas y la observación de la red de antenas desde el punto X , se hace en dirección transversal y suficientemente alejada para que la distancia desde dicho punto a cada uno de los elementos sea virtualmente la misma).*
3. Las corrientes que se inducen de un elemento a otro deben ser insignificantes. *(Esta condición solo depende de la separación de los elementos).*

En las redes de antenas reales, estas condiciones se satisfacen en forma aproximada. Además, debido a las pérdidas de alimentación y otros factores, el aumento de la ganancia obtenido con el incremento del número de elementos tiene un límite. No obstante y como regla general, la ganancia de las redes es aproximadamente duplicada *(incrementa en alrededor de 3dB)*, cada vez que se dobla el numero de sus elementos. Manteniendo un espaciamiento adecuado entre ellas.

La antena de Ranuras

Una forma de fabricar una red de antenas, es tallando una serie de ranuras en una guía de ondas.

La antena guía de ondas, o antena ranurada tiene muchas aplicaciones en radares y sistemas de comunicaciones por microondas, debido a su bajo peso y tamaño reducido.

Una ranura tallada en la pared de una guía de ondas, interrumpe las corrientes de dicha pared y crea un campo eléctrico que radia potencia RF, la amplitud y fase de la potencia radiada están determinadas por las dimensiones, orientación y localización de la ranura. Observe Figura 10.5(a) donde se ilustran las corrientes en las paredes de una guía de ondas y en la Figura 10.5 (b), donde se muestran algunos lugares posibles donde pueden tallarse las ranuras.

En estas Figuras se puede observar que las ranuras más eficaces son 'b' (ranura en derivación y desplazada en la pared ancha), 'e' (ranura en serie y con cierta inclinación en la pared ancha) y 'g' (ranura en derivación y con cierta inclinación en la pared estrecha).

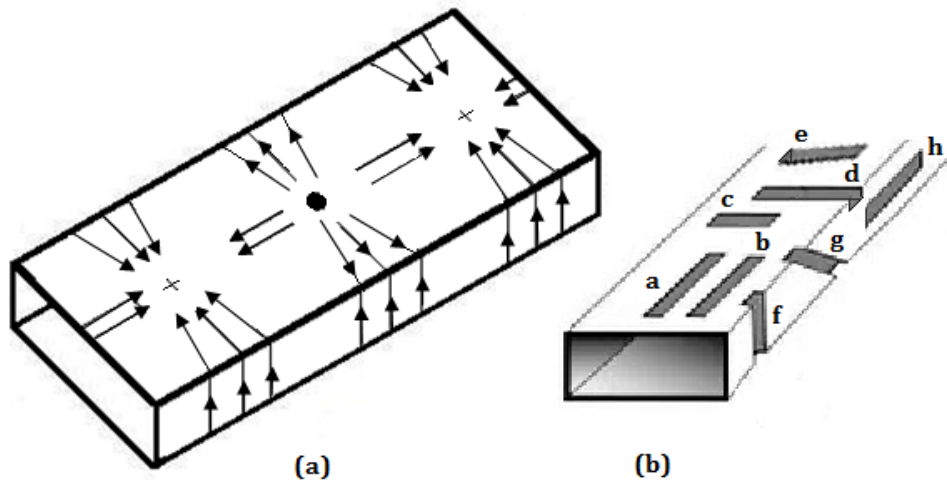


Figura 10.5 (a) corrientes en las paredes de una guía de ondas, (b) ranuras en una guía de ondas.

Las ranuras 'c', 'd' y 'e' están en serie con la guía de ondas por que cortan las corrientes en forma longitudinal. Las ranuras 'b', 'g' y 'h' cortan transversalmente las corrientes y en consecuencia están en paralelo con la guía. Por otra parte, 'a' y 'f' no cortan ninguna corriente, por lo tanto, no radian.

Si el largo de la ranura es aproximadamente una media longitud de onda, ó sea, $(0,47\lambda_g$ es un valor típico, donde λ_g es la longitud de onda de la guía), **la ranura será resonante.**

Debido a que el espaciado es una función de la longitud de onda, las redes resonantes tienen un ancho de banda muy estrecho. La resonancia de la red no debe confundirse con la correspondiente a cada ranura. En la práctica las antenas de ranuras casi siempre utilizan ranuras resonantes.

Las antenas de ranura se pueden cortocircuitar en un extremo mediante una carga adaptada y diseñada para generar una onda estacionaria con una corriente máxima en cada ranura. Esto producirá una radiación máxima de la antena.

La antena que utilizaremos en este laboratorio es del tipo "Red de onda estacionaria", es decir, que la red termina en una placa de cortocircuito ubicada en el extremo de la guía de ondas.

Para una radiación óptima, dicha placa debe estar ubicada a una distancia, $d = \frac{\lambda_g}{4} + \frac{n\lambda_g}{2}$ donde $\lambda_g = 3.6455\text{cm}$, y longitud de onda en la guía es:

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(f_c/f\right)^2}}$$

Donde λ es la longitud de onda en el espacio libre

f es la frecuencia de la señal

f_c es la frecuencia de corte de la guía de ondas

(para una guía de ondas tipo WR – 90, $f_c = 6.557\text{GHz}$)

Procedimiento:

A. Materiales:

- Generador RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Mástil de anillo de sujeción
- Antena de bocina de abertura grande
- Antena de bocina de abertura pequeña
- Antena de ranura
- Guía de ondas
- Placa de cortocircuito
- Cinta adhesiva de cobre
- Porta guías plástico
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 10.6

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

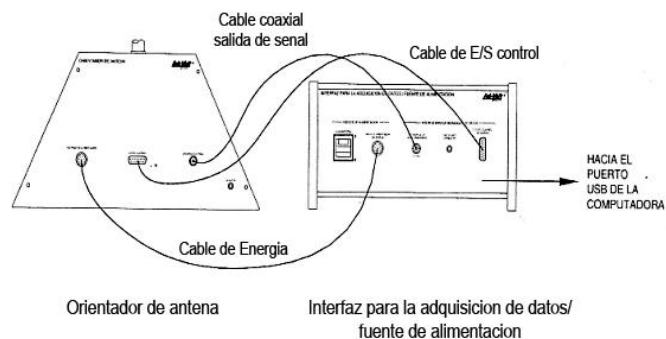


Figura 10.6 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena

C. Monté una antena de bocina de abertura grande en el soporte de transmisión mediante el anillo de sujeción, utilice el portaguía de plástico para orientar la antena en el plano H. (ver Figura 10.7). Conecte el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección *oscilador 10GHZ* del Generador RF, luego conecte la antena.



Figura 10.7 Bocina de abertura grande plano H, Tx.

D. Instalé la antena de bocina de abertura pequeña en el soporte deslizante del ORIENTADOR DE ANTENA, de tal manera que quede orientada con polarización en el plano H empleando el cable tipo SMA mediano. Conecté la antena receptora a la entrada RF, ubicada en la parte superior del orientador de antena. Figura 10.8



Figura 10.8 Bocina abertura pequeña plano H, Rx.

Utilice el soporte deslizante como se observa en la Figura 10.8, para asegurarse de que la abertura de la antena este alineada con el centro de rotación del ORIENTADOR DE LA ANTENA.

E. Separé las antenas a una distancia de $r=1.5\text{m}$. Luego ajústelas para que estén a la misma altura y enfrentadas .Figura 10.9.



Figura 10.8 Antenas de bocina enfrentadas a una distancia $r=1.50\text{cm}$

F. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	10GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

G. Coloque el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHZ del generador de RF en la posición EMITE.

H. Ajuste el nivel de la señal. Utilizando el control de atenuación



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

I. Inicie la primera adquisición, después de completarla coloque el interruptor POTENCIA RF del Generador RF en la posición NO EMITE. Almacene el diagrama de radiación como plano H en un nuevo documento (Document1); si es necesario agregue comentarios utilizando el cuadro de resumen de información para identificar el diagrama. (*tenga este diagrama como referencia para posteriores cálculos*).

Oriente el diagrama mediante el PMS para que este sea 0°

J. Reemplacé la antena receptora por la antena ranurada, observe su configuración a lo largo de la guía de ondas. La distancia entre la parte final de la guía de ondas y la primera ranura es más corta en uno de los extremos que en el otro. (ver Figura 10.10).

Acople la placa de cortocircuito en el extremo donde la distancia es más corta y el adaptador de guía de ondas al cable coaxial en el otro extremo.

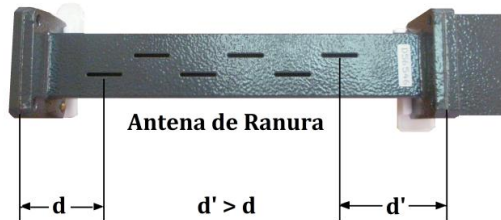


Figura 10.10 Montaje de una antena de ranura.

K. Tome la medida de la distancia d , entre la placa de cortocircuito y el centro de la primera ranura.

$$d = \text{____} \text{ cm}$$

L. Monté la antena de ranuras en el mástil con el anillo de sujeción y oriéntela para una adquisición en el plano H (observe la Figura 10.11), para lograr un montaje correcto de la antena de ranura. Note que la polarización es perpendicular a la dirección de las ranuras.



Figura 10.11 Antena de ranura polarizada verticalmente. Plano H

Asegúrese de que la antena está orientada con el centro de rotación del orientador de antena.

M. Separe las antenas una distancia $r=1.5\text{m}$, inicie una adquisición y almacénenla como plano H, en un nuevo Documento2. Oriente el diagrama de manera que el PMS este en 0° .

N. Roté las antenas Tx y Rx, para una adquisición en el plano E, observe el montaje de la antena ranurada para una polarización horizontal (Figura 10.12). Realicé otra adquisición y almacene este diagrama junto al anterior en el Documento2 como plano E.



Figura 10.12 Antena ranurada polarizada horizontalmente, plano E

O. Retire la guía de ondas ranurada del mástil, desconecte la placa de cortocircuito y el adaptador de guía de ondas a cable coaxial, luego reconecte ambos en los extremos opuestos de la guía de ondas ranurada. (ver Figura 10.13).



Figura 10.13 Montaje de la placa de cortocircuito y del adaptador de guía de ondas en los extremos opuestos de la antena ranurada.

P. Anote la distancia d' entre la placa de cortocircuito y la primera ranura.

$$d' = \text{_____} cm$$

Q. Instale nuevamente la antena en el mástil receptor y realice adquisiciones en los dos planos H y E, siguiendo las instrucciones anteriores, almacene estos diagramas de radiación en un nuevo Documento3.

R. Compare los diagramas de radiación de los Documentos 2 y 3, ¿Explique la diferencia entre el nivel máximo de la señal de las dos antenas?

AHPM de la antena de ranura

S. Calcule la anchura de haz de potencia mitad, tomando como referencia el diagrama de radiación del Documento2.

$$AHPM_E = \text{_____}^\circ$$

$$AHPM_H = \text{_____}^\circ$$

Ganancia de la antena de ranura

T. Tomando como referencia el diagrama de radiación de la antena de bocina de abertura pequeña del Documento1 y el diagrama de radiación según el plano H del Documento2. Mida la ganancia de la antena de ranura. (si aun no sabe o no tiene el valor de la ganancia de referencia (G_{Ref}) de una antena de bocina de abertura pequeña consulte el ANEXO 1 al final de este libro).

$$G_{ranura} = P_{ranura} + G_{Ref} - P_{Ref}$$

$$G_{ranura} = \text{_____} dB$$

Función característica de la red y diagrama de radiación

S. Desmonte la antena de ranura del mástil receptor, y nuevamente cambie de lado la conexión de la placa de cortocircuito, y del adaptador. A los extremos adecuados de la guía de ondas, para una antena eficiente. (ver Figura 10.14).



Figura 10.14 Antena de ranuras eficazmente montada

T. Utilizando la cinta adhesiva de cobre, selle tres ranuras (dos de un lado y una de otro) de la guía de ondas, tal como se puede ver en la Figura 10.15.

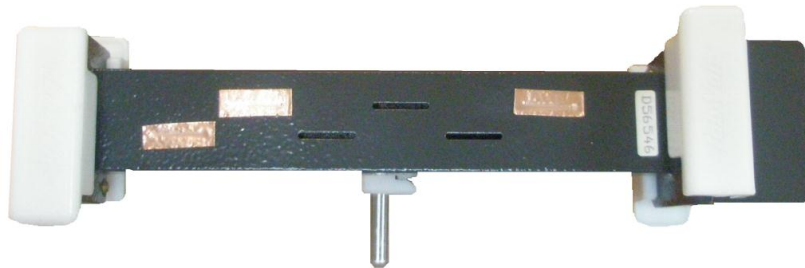


Figura 10.15 Sellado de las ranuras de la guía de onda (Dos de un lado y una de otro)

U. Instalé esta antena en el mástil Rx y asegúrese de que las antenas transmisora y receptora estén orientadas para un adquisición en el según el plano. Realice una nueva adquisición y almacénela en el Documento4

V. Compare el diagrama del Docuemento4 con el diagrama del plano H del Documento2.

¿Explique la diferencia entre sus MNS?

W. Sellé una cuarta ranura, de manera que queden abiertas solamente las dos ranuras ubicadas en el centro de la guía de ondas. (ver Figura 10.16).

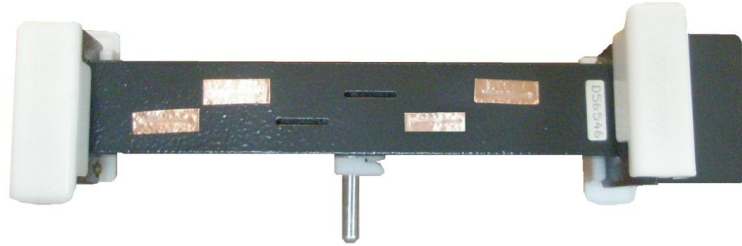


Figura 10.16 Sellado de todas las ranuras, menos las dos del centro de la guía de ondas

Inicie una adquisición luego almacene este diagrama como plano H en un nuevo Documento5

X. Retire las dos cintas que se encuentran más cerca de los extremos de la guía de ondas y úselas para sellar las dos ranuras del centro. (ver Figura 10.17).

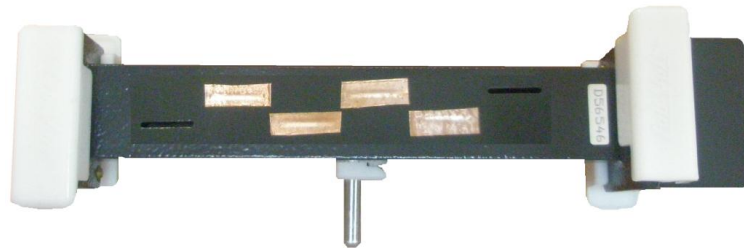


Figura 10.17 Sellado de todas las ranuras, menos las dos de los extremos

Note que las dos ranuras estas separadas una distancia r mayor que una longitud de ondas ($r > \lambda$).

Realice otra adquisición con este montaje y almacénela como plano H en un nuevo Documento6

Y. Observe los diagramas de plano H de los documentos 5 y 6, y compárelos con el del plano H de la antena original del Documento2.

Estos tres diagramas, así como el plano H en el Documento4, revelan algunos aspectos importantes sobre el comportamiento de las redes de antenas.

Observe que:

- ✓ La directividad se reduce cuando se reduce el número de elementos de la red.
- ✓ La directividad aumenta en aproximadamente 3dB cuando el número de elementos se duplica.
- ✓ Aparecen haces que se repiten cuando los elementos de la red están separados por una distancia mayor que una longitud de onda. 'Estó debe evitarse' (montaje del Documento6).

Preguntas:

- ✓ Explique brevemente como opera una red de antenas.

- ✓ Explique cómo se puede encontrar el diagrama de radiación completo de una red dada.

- ✓ Si desea aumentar la ganancia de una red de antenas que cuenta con 6 elementos en aproximadamente 9dB ¿Cuántos elementos se deben adicionar a la red?

- ✓ Defina brevemente la función característica de la red.

✓ Se vio que para obtener una radiación máxima, la ranura más cercana debe estar a una distancia $d = (\lambda_g)/4 + n(\lambda_g)/2$, a partir del extremo en que se encuentra la placa de cortocircuito.

Utilizando las distancias d y d' recopiladas en las etapas anteriores, explique los resultados obtenidos con esos dos montajes diferentes.

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.11 PRÁCTICA N° 11

Antena de Placa Rectangular

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con la antena de placa y con la tecnología de las microbandas que se utiliza en la fabricación de ese tipo de antenas.

Objetivo específico

- Calcular la AHPM y ganancia de una antena de placa rectangular.
- Observar la influencia de las dimensiones de la placa en el rendimiento de la antena.
- Observar y analizar como un Radomo influye en el diagrama de radiación de la antena.

Fundamento teórico

Antena de Microbandas

Una antena de este tipo consiste en una placa de material conductor, normalmente de forma rectangular o circular, separada de un plano de tierra por una capa fina (fracción de una longitud de onda) o sustrato de material eléctrico. La microbanda resulta muy adecuada debido a su perfil delgado. Otras ventajas son su bajo costo, poco peso, facilidad de fabricación e instalación, aunque su diseño no siempre es sencillo.

La Figura 11.1 muestra las antenas de microbandas de placa rectangular y de placa circular típicas. Estas antenas constan esencialmente de un circuito impreso

en el que de un lado se encuentra grabada la placa de antena y del otro un plano de tierra.

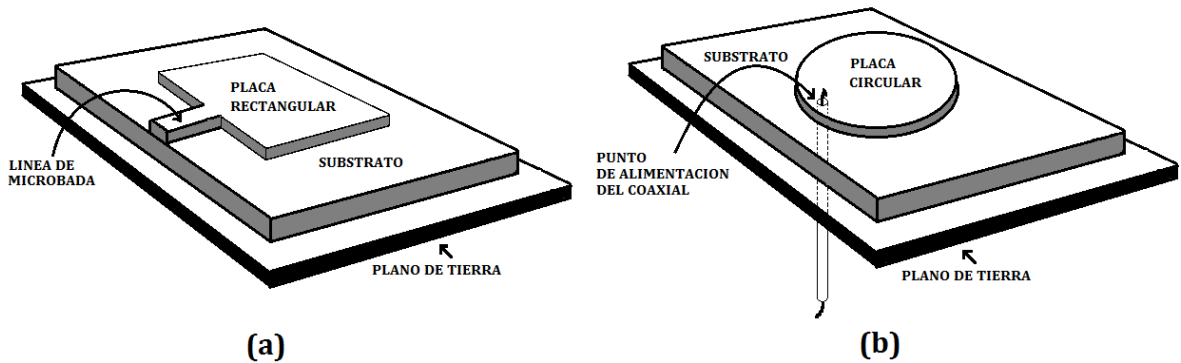


Figura 11.1 (a) Placa de microbandas rectangular alimentada, (b) Placa de microbandas circular.

La figura 11.1 (a), muestra una placa rectangular en la que alimentación de la señal RF llega a través de una tira delgada metálica, mientras que en la Figura 11.1 (b) ilustra una placa circular cuya alimentación se realiza a través de un orificio en el plano de tierra.

Para las antenas de Microbandas, la precisión de la constante dieléctrica del sustrato, es de mucha importancia porque es el parámetro que más influye sobre la constante de propagación en el material, y en efecto también en la frecuencia de resonancia y en las características de radiación de la antena.

Características de una placa rectangular

En la siguiente Figura se muestran las dimensiones básicas de una antena de microbandas de placa rectangular.

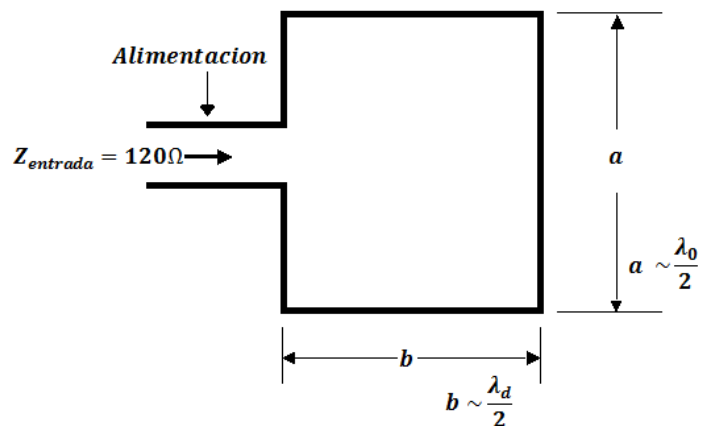


Figura 11.2 Antena elemental de microbandas rectangular

La conductancia de la antena es una función del ancho a , y la frecuencia de resonancia es una función del largo b . Donde:

$$b \approx 0,49\lambda_d = 0,49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Siendo λ_0 Es la longitud de onda en el espacio libre

λ_d Es la longitud de onda en el dieléctrico

ϵ_r Es la constante dieléctrica relativa del substrato

Normalmente debido a las variaciones de la constante dieléctrica e inducida de alimentación, es necesario realizar ciertos ensayos para determinar el largo exacto de la placa.

Los campos eléctricos que se encuentran en el borde de alimentación de la placa rectangular y en el borde opuesto de la Figura 11.3, son los que contribuyen principalmente a determinar las características de radiación de la antena.

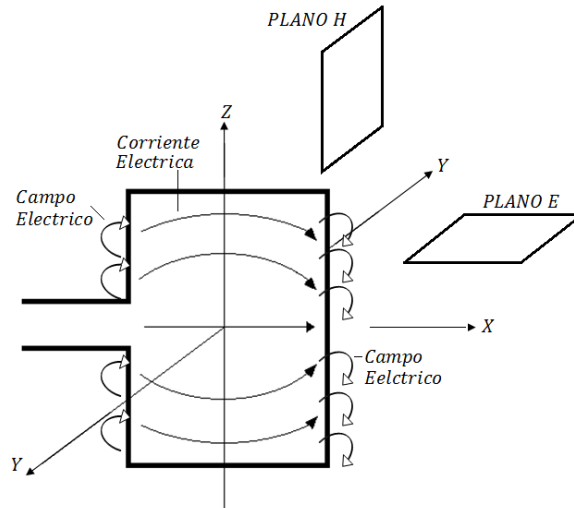


Figura 11.3. Corriente eléctrica y configuración del campo eléctrico predominante dentro y alrededor de la placa.

La onda radiada por la antena tiene polarización horizontal, es decir, el plano E (plano x-y) se encuentra en la dirección horizontal, y el plano H (plano y-z) en la dirección vertical.

La separación b entre ambos bordes de la placa corresponden a aproximadamente una media longitud de onda en el dieléctrico ($0,49\lambda_d$). Esto provoca una excitación desfasada de las ranuras opuestas. Sin embargo, los dos

campos eléctricos radiando en paralelo se adicionan en fase, en la dirección normal a los elementos (en dirección y).

Diagrama de radiación de una red de dos ranuras en una guía de ondas

Una buena analogía que sirve para calcular con precisión las características de la antena de placa rectangular, es comparar esta con una antena guía de ondas de dos ranuras. (Ver Figura 11.4).

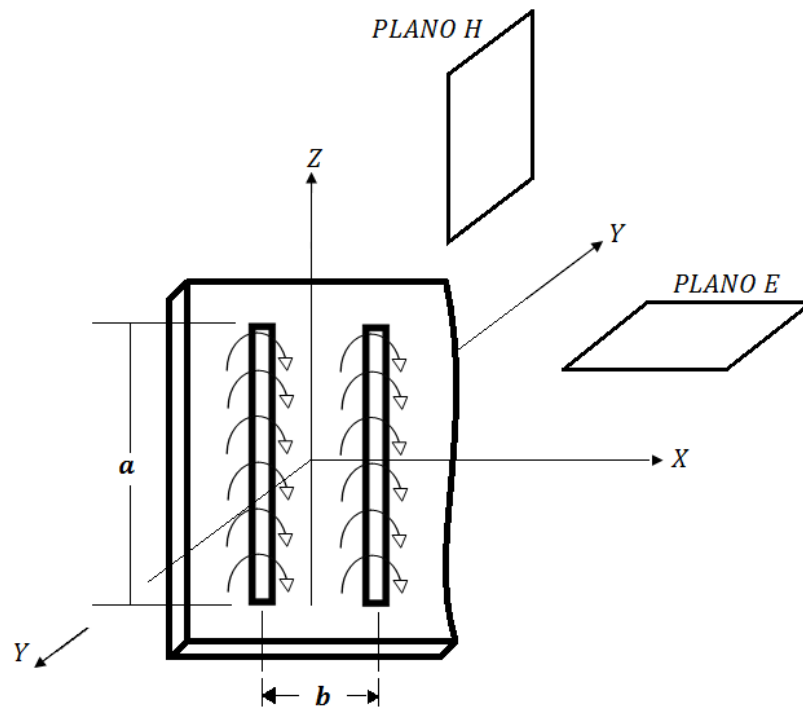


Figura 11.4 Analogía de comparación de una placa rectangular con dos ranuras paralelas en una guía de ondas

Teniendo en cuenta la analogía de que la antena guía de ondas de dos ranuras de la Figura 11.4, es equivalente a tener una antena de placas rectangular como la de la Figura 11.2. Los diagramas de radiación de ambas antenas serian iguales.

A fin de comprender mejor el diagrama de radiación de la antena guía de ondas de dos ranuras, es importante recordar que la distancia b , se eligio para que los campos eléctricos radiados por las dos ranuras estén en fase.

Entonces, las condiciones para esta situación pasan a ser como se ilustra en la Figura 11.5, donde se puede observar que en cualquier punto del eje y , la distancia a cada ranura es idéntica. Por lo tanto los campos provenientes de ambas ranuras se suman en fase en el campo lejano, entregando una máxima radiación. En las otras direcciones, las distancias que parten desde las dos ranuras no son iguales debido a que la adición de los campos no se forma perfectamente en fase. Por esta razón el diagrama de radiación tendrá un lóbulo principal, con un máximo en la dirección del eje y . (Ver Figura 11.5).

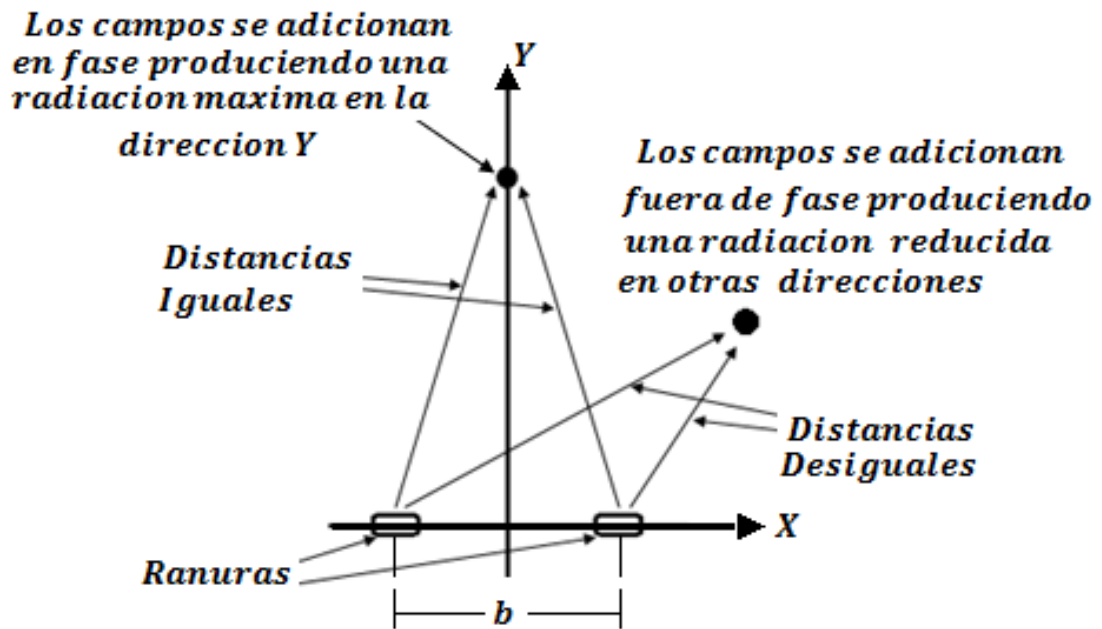


Figura 11.4. Explicación del diagrama de radiación del plano E en el campo lejano, a partir de una placa rectangular.

Impedancia de la antena de microbandas

Idealmente, debido a que la impedancia de entrada de la placa rectangular es alrededor de 120Ω , la impedancia de la conexión de la línea de alimentación de microbandas y cable coaxial debería tener ese mismo valor.

Pero como ya sabemos, el cable coaxial utilizado en las prácticas de laboratorio tiene una impedancia de 50Ω , por lo tanto, para poder acoplarlo se usa una línea de microbandas de 50Ω (ver Figura 11.6), está adaptada la impedancia entre la línea de 50Ω y la placa rectangular de 120Ω , para esto se usa una varilla de longitud $\lambda/4$.

La función de esta varilla de $\lambda/4$ es una técnica simple para obtener una buena adaptación de impedancia, en una banda estrecha de frecuencias.

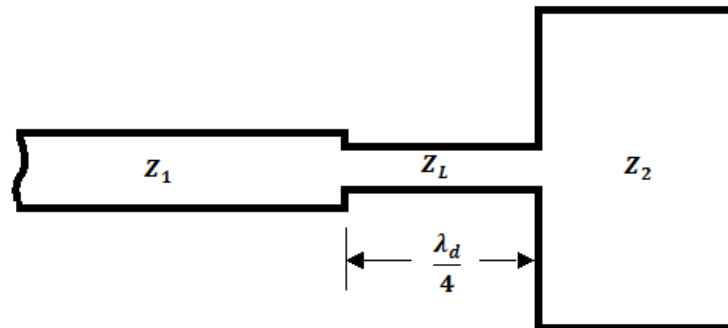


Figura 11.6. Varilla de $\lambda/4$ e impedancia Z_L para adaptar las impedancias Z_1 y Z_2

La ecuación que relaciona las impedancias $Z_1 = 50\Omega$, y $Z_2 = 120\Omega$, que se deben adaptar a la impedancia Z_L de la varilla de $\lambda/4$, es:

$$Z_L = \sqrt{Z_1 Z_2}$$

$$Z_L = \sqrt{(50)(120)}$$

$$Z_L = 78\Omega$$

En la siguiente figura se puede observar, el modelo de la antena de placa rectangular utilizada en este laboratorio, en el que se puede apreciar la varilla de cuarto de onda de 78Ω .

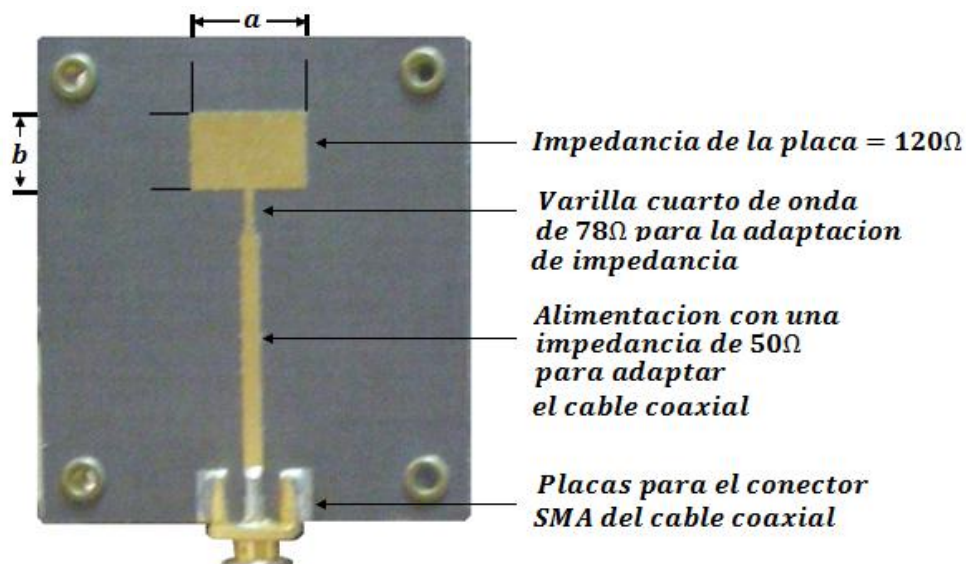


Figura 11.7. Antena de una placa del sistema didáctico de antenas Lab-Volt.

Materiales dieléctricos utilizados para la protección y refuerzo de las antenas.

A veces se necesita proteger o reforzar las antenas. Según el tipo de antena y sus aplicaciones, se pueden emplear diferentes materiales para lograrlo.

Los Radomos, por ejemplo, exigen el uso de materiales que presenten gran resistencia pero que a la vez permitan la transmisión eficaz de las señales RF.

En otros casos, la transparencia que puedan ofrecer los radomos en las ondas electromagnéticas debe ser lo más importante y la solidez física si puede ser menos crítica. Un buen ejemplo de esto es el poliestireno, que resulta adecuado para reforzar la base de una antena helicoidal de 10GHz, gracias a su elevada transparencia para las señales RF, pero tiene poca solidez para protección.

Cuando se selecciona un material para la solidez o reforzar una antena, se debe tener en cuenta la constante dieléctrica de dicho material, su tangente de pérdida en función de la frecuencia y su densidad. La elección del material se debe hacer de manera que asegure un rendimiento óptimo, y al mismo tiempo una protección adecuada.

La siguiente tabla muestra los diferentes materiales, así como la constante dieléctrica de cada uno.

MATERIAL	CONSTANTE DIELECTRICA
Porcelana	474
Vidrio E	611
Agua (a temperatura ambiente)	80
Poliestireno 103,7	103
Baquelita	352
Duroid 5650	265
Resina epóxica RN-48	291
Fibra de vidrio laminada BK-174	437
Lexan	286
Plexiglás	259
Teflón	298

Tabla 11.1 Constantes dieléctricas de diferentes materiales($f = 10GHz$).

En ciertos casos las reflexiones pueden modificar el comportamiento del material protector. Dependiendo de la distancia entre dicho material y la antena, las reflexiones pueden ocurrir de tal manera que la señal recibida resulte parcialmente anulada o amplificada de acuerdo con las fases relativas de la señal y las reflexiones.

Procedimiento:

A. Materiales:

- Generador RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Mástil con anillo de sujeción
- Mástil con clips verticales
- Soporte de clips
- Vástago (mástil columna corta)
- Antena de bocina de abertura grande
- Antena de bocina de abertura pequeña
- Antena de una placa rectangular
- Adaptador de 90°
- Cinta adhesiva de cobre
- Porta guías plástico
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 11.8

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

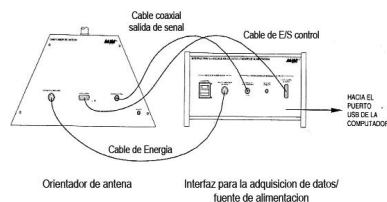


Figura 11.8 Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena.

C. Monté una antena de bocina de abertura grande en el soporte de transmisión mediante el anillo de sujeción, utilice el portaguía de plástico para orientar la antena en el plano H. (ver Figura 11.9), Conecte el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección *oscilador 10GHZ* del Generador RF, luego conecte la antena.



Figura 11.9. Bocina de abertura grande plano H, Tx.

D. Instale la antena de bocina de abertura pequeña en el soporte deslizante del ORIENTADOR DE ANTENA , de tal manera que quede orientada con polarización en el plano H. Empleando el cable tipo SMA mediano conecte la antena receptora a la entrada RF, ubicada en la parte superior del orientador de antena.(la Figura 11.10)



Figura 11.10 Bocina abertura pequeña plano H, Rx.

Utilice el soporte deslizante como se observa en la Figura 11.10, para asegurarse de que la abertura de la antena este alineada con el centro de rotación del ORIENTADOR DE LA ANTENA.

E. Separe las antenas a una distancia de $r=1.5\text{m}$. luego ajústelas para que estén a la misma altura y enfrentadas .Figura 11.11

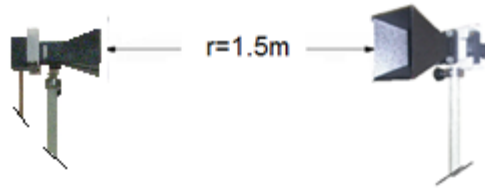


Figura 11.11 Antenas de bocina enfrentadas a una distancia $r=1.50\text{cm}$

F. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	10GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

G. Coloque el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHZ del generador RF en la posición EMITE.

Ajuste el nivel de la señal. Utilizando el control de atenuación



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

H. Inicie la primera adquisición, después de completarla coloque el interruptor POTENCIA RF del generador de RF en la posición NO EMITE. Almacene el diagrama de radiación como plano H en un nuevo documento (Document1); si es necesario agregue comentarios utilizando el cuadro de resumen de información para identificar el diagrama. (*tenga este diagrama como referencia para posteriores cálculos*).

Oriente el diagrama mediante el PMS para que este sea 0°

I. Desmonte la antena Rx y cambie el mástil de anillo de sujeción por uno con clips verticales.

Arme la antena de una placa rectangular tal como se ilustra en la Figura 11.12, introduzca la columna corta en el adaptador de 90°, ajústela con el tornillo, luego acople el soporte de clips a la antena de una placa rectangular, posteriormente encaje el soporte de clips en el adaptador de 90°, ajústela con el tornillo.

Una vez hecho esto, posicione la antena de una placa rectangular mediante los pernos que trae el soporte de clips, y ajuste la orientación angular de la antena de manera que esta quede perpendicular a la dirección de propagación de la señal y trabe los pernos a la antena en esta posición.

J. Conecté el cable tipo SMA mediano a la antena, y luego fije la antena completa al mástil de clips verticales,(ver Figura 11.12)

Ahora la antena está orientada para una rotación según el plano H.

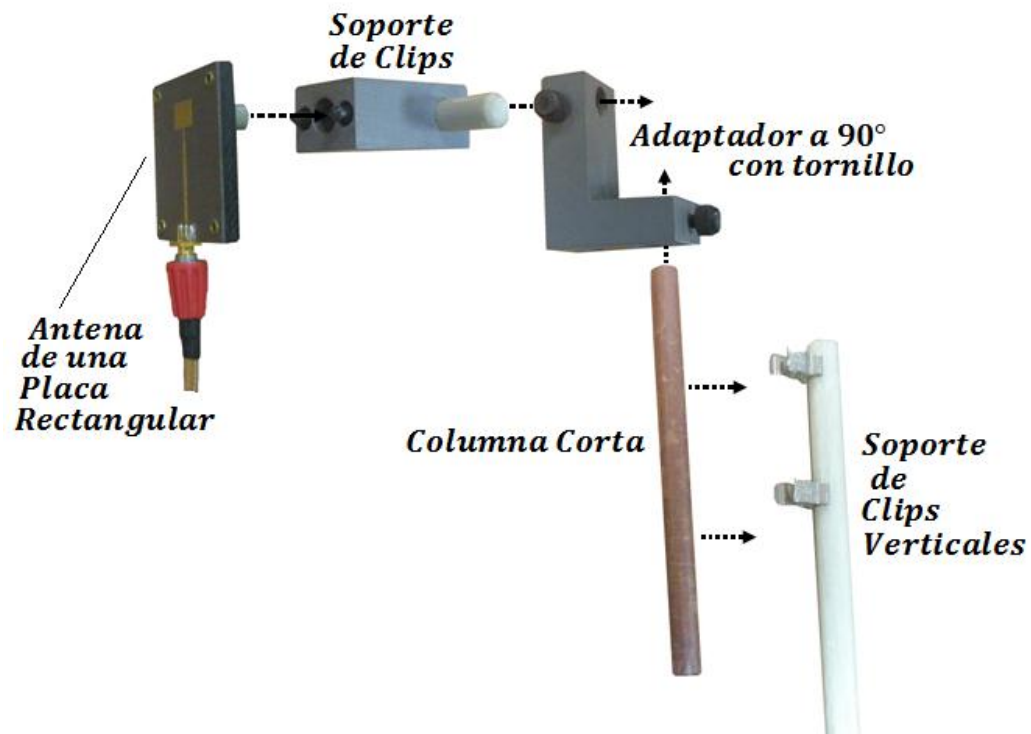


Figura 11.12. Montaje de la antena de placa según el plano H

Cerciórese de que la antena de microbanda está alineada con el centro de rotación del orientador de antena. (Ver Figura 11.13)

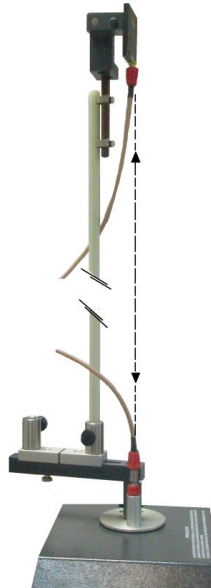


Figura 11.13. Antena microbanda alineada con el centro de rotación de la antena

K. No modifique la distancia de las antenas, asegúrese que las antenas estén enfrentadas y a la misma altura. Inicie una nueva adquisición y almacene este diagrama en un nuevo Documento2.

L. Cambié de posición la antena de placas, retírela y gírela 90° , luego vuelva a montarla para que esta vez quede orientada según el plano E. (ver Figura 11.14).

Roté también la antena transmisora para una adquisición en el plano E.

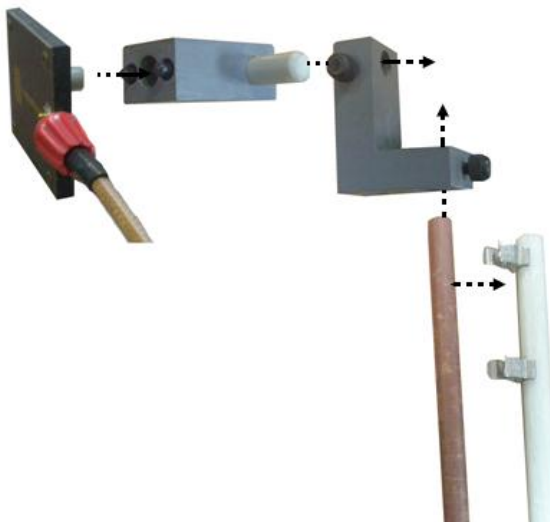


Figura 11.14. Montaje de la antena de placa orientada según el plano E

M. Inicie una nueva adquisición y almacene este diagrama en el Documento2, como plano E.

Orienta el diagrama mediante el PMS para que este sea 0°

AHPM y ganancia de la antena de una placa

N. Utilizando la ganancia de la antena de bocina de abertura pequeña, como referencia.

- Calcule la ganancia de la antena de placas rectangular.

$$G_{placa} = P_{placa} + G_{Ref} - P_{Ref} = \text{_____} dB$$

- Calcule la AHPM del plano H de la antena de placas.

$$AHPM_H = \text{_____}^\circ$$

Adaptación y Sintonía

O. Retiré la antena de placas, tome la cinta adhesiva de cobre y corte un pedazo del mismo diámetro de la placa. (Ver Figura 11.15) y aumente la altura de la placa.



Figura 11.15. Aumento de la altura de la placa.

Orienté las antenas nuevamente para una adquisición según el plano H, inicie la adquisición del diagrama de radiación y almacene este en un nuevo Documento3

P. Retire nuevamente la antena Rx y ahora cambie el trozo de cinta adhesiva con el que aumento el tamaño de la placa y reemplácelo por dos pedazos de cinta adhesiva a cada lado, observe en la siguiente Figura que dicha cinta debe ser un poco más corta que la altura de la placa.



Figura 11.16. Antena de una placa, aumento del ancho de la placa.

Orienté las antenas nuevamente para una adquisición según el plano H, inicie la adquisición del diagrama de radiación y almacene este en un nuevo Documento4.

Q. Compare los diagramas de los Documentos 3 y 4, con la del plano H correspondiente al diagrama de radiación del Documento2, que es la antena original.

Analicé las pérdidas ocasionadas por los cambios hechos a las antenas. Justifique su respuesta.

Propagación de la señal en el material dieléctrico

R. Desprenda las cintas de la antena Rx, no modifique su orientación. Desplacé la antena a través del carril del soporte deslizante hasta el extremo del este. (Ver Figura 11.17).

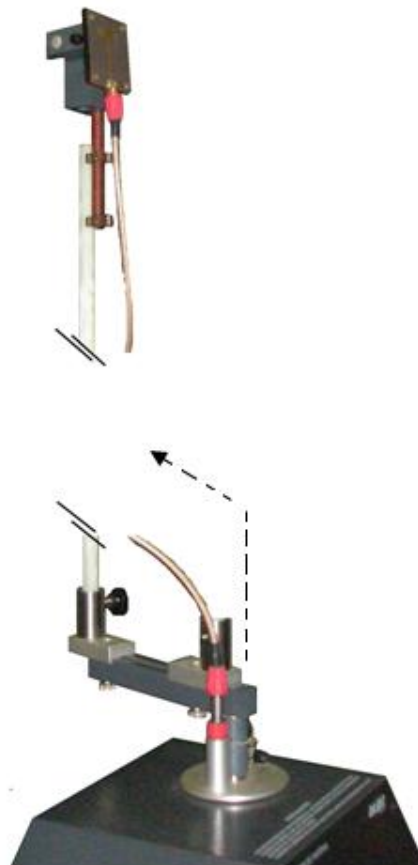


Figura 11.17. Desplazamiento de la antena hasta el extremo del soporte deslizante

Realice una adquisición y almacene este diagrama como plano H en un nuevo Documento5.

S. Instale otro mástil pero uno con anillo de sujeción en el soporte deslizante, sujete una placa de plexiglás en este nuevo mástil, de modo que quede paralela a la antena de un placa. (Ver figura 11.18)

Asegúrese de que tanto la antena de placas, y el plexiglás se encuentren totalmente de frente a la antena de bocina de abertura grande (ver Figura 11.18).



Figura 11.18. Montaje con el Radomo de plexiglás.

T. Coloque el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHz del generador RF en la posición EMITE.



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

U. Mueva lentamente el soporte deslizante del mástil donde se encuentra instalado el plexiglás a lo largo del carril y observe como la modificación de la distancia entre la antena y el plexiglás incide en la señal recibida.

V. Posicione el plexiglás para recibir el pico más alto de señal, luego realice una nueva adquisición y almacene el diagrama en un nuevo Documento6.

W. Mueva nuevamente el soporte deslizante lentamente y posicione el plexiglás para recibir una señal mínima, realice una nueva adquisición y almacene este diagrama en un nuevo Documento7.

X. Al observar y compara los dos últimos diagramas con el obtenido en el Documento5, podemos analizar cómo influye un Radomo y la distancia en que se posicione desde la antena, en el diagrama de radiación de esta.

Preguntas:

✓ ¿Qué parámetro influye en las antenas microbanda para determinar con mayor precisión la frecuencia de resonancia y las características de la antena?

✓ ¿Qué analogía se utiliza para calcular con precisión las características de la antena de placa rectangular?

✓ Para adaptar la impedancia de entrada de una placa rectangular ¿Cómo debe adaptarse esta al cable coaxial?

✓ Al comparar los diagramas los diagramas de radiación de los Documentos 6 y 7 con el Documento5 ¿Cómo influye la distancia a la que se coloque el Radomo desde la antena?

LABORATORIO DE ANTENAS

3.2.12 PRÁCTICA N° 12

Antena de Red Planar

Objetivo general

- Al finalizar esta práctica, el estudiante estará familiarizado con un tipo de antena llamada red planar, que se construye utilizando la tecnología de las microbandas, aprenderá a trazar la función característica de una red lineal espaciada y excitada uniformemente, para a partir de ese trazado, obtener el diagrama polar de radiación, también se familiarizara con las características de las redes de microbandas alimentadas en serie y en paralelo.

Objetivos específicos

- Trazar el diagrama de radiación de la red planar de microbandas alimentada en serie y en paralelo
- Observar cuál de las antenas es más fácil de sintonizar, la alimentada en serie o la de aquella alimentada en paralelo.
- Medir la ganancia de la red alimentada en paralelo y en serie

Fundamento teórico

Función característica de la red

En prácticas anteriores se estudio como encontrar la función característica de la red, que en general es el efecto sobre el diagrama de radiación provocado por la adopción de una configuración específica de la red.

También se analizo que el diagrama de radiación completo de una red dada, se puede predecir por medio del factor multiplicador.

Cuando trabajamos con las antenas de ranuras, hicimos la analogía entre esta y una guía de ondas de dos ranuras, debido a que son equivalentes, esto se da porque sus diagramas de radiación son en esencia iguales.

Ahora bien para entender la función característica de una red planar, observe la Figura 12.1

Considere el caso de una red lineal cuyos elementos están uniformemente espaciados por una distancia d , cuando se recibe una señal con origen en el campo lejano, en forma directamente perpendicular, ósea ($\theta = 0$), la distancia entre cada elemento y la fuente es la misma. Por lo tanto las corrientes se adicionan en fase.

Cuando ($\theta > 0$), las distancias no son iguales. Observando la Figura 12.1, de derecha a izquierda, cada elemento esta a una distancia ($d \sin \theta$) mas lejos de la fuente que el elemento anterior.

Esto provoca una diferencia de fase en las corrientes de los elementos sucesivos, y esta diferencia de fase (ψ) es igual a:

$$\psi = \beta d \sin \theta$$

Donde $\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$

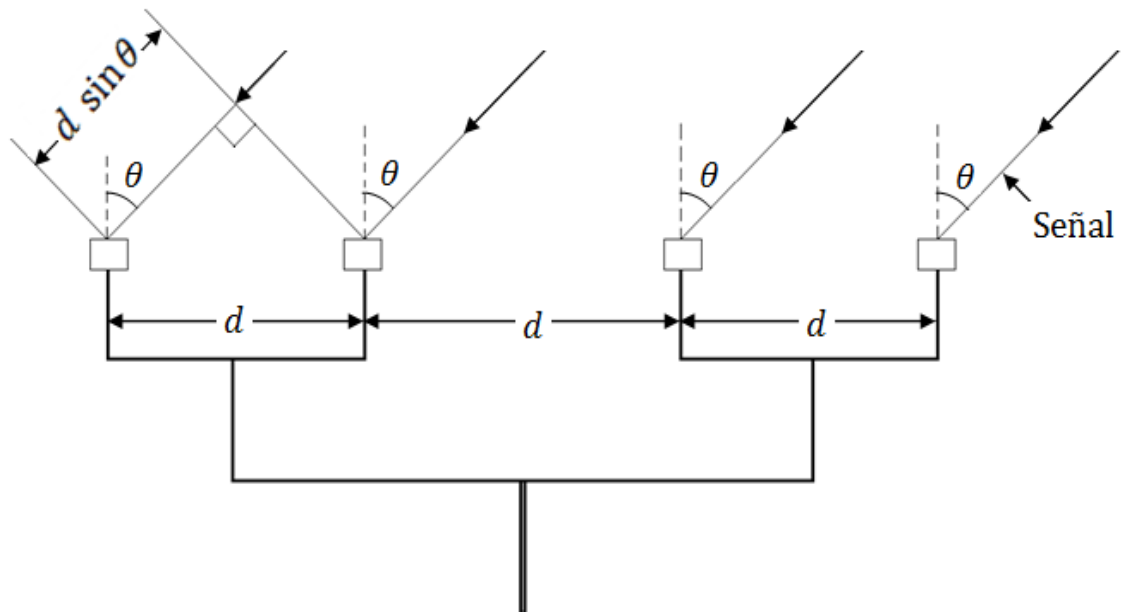


Figura 12.1 Red lineal de cuatro elementos

Ahora la función característica (FC) de la red normalizada para N elementos, los cuales además de estar espaciados y excitados uniformemente, se encuentran centrados en el origen, es:

$$f(\psi) = \frac{\sin(N\psi/2)}{N \sin(\psi/2)}$$

En la siguiente figura se puede observar un trazado de esta FC , que representa la respuesta de la red en función de la diferencia de fase ψ , existente entre los elementos sucesivos de esta red.

Las respuesta de la red es máxima cuando ($\psi = 0$), es decir cuando la fuente emisora de señal se encuentra perpendicularmente.

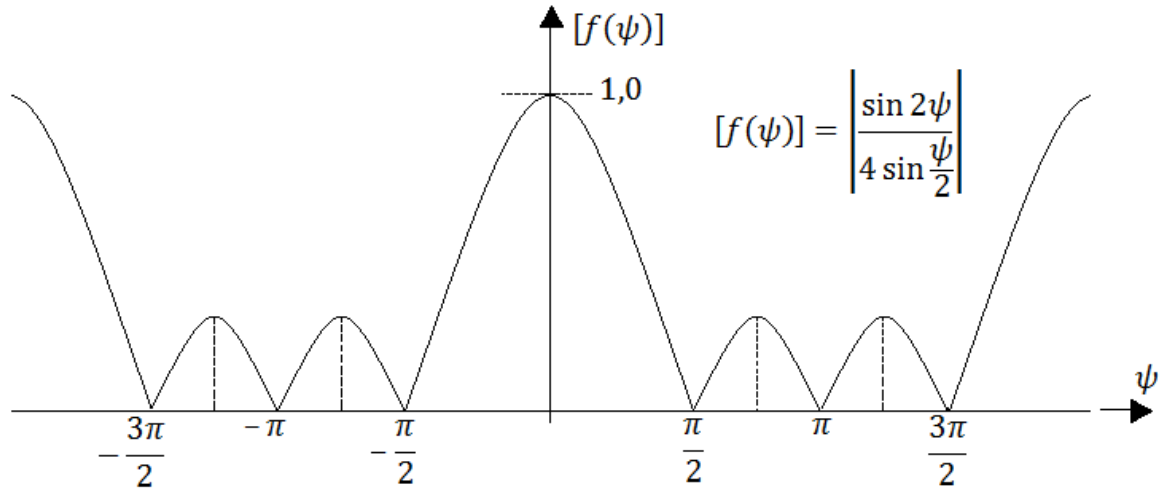


Figura 12.2. Función característica de la red, para una red de cuatro elementos.

Utilizando como referencia la figura 12.2 y como se puede observar en la figura 12.3, es posible utilizar un método gráfico para obtener una representación en coordenadas polares del diagrama de radiación de la antena, esto lo hacemos dibujando un semicírculo de radio βd , debajo del diagrama de radiación correspondiente a la función característica de la red.

Si como en este ejemplo el espaciamiento d de los elementos es igual a $\lambda/2$, entonces el radio βd sería:

$$\beta \cdot d = \left(\frac{2\pi}{\lambda} \right) \cdot \left(\frac{\lambda}{2} \right)$$

$$\beta d = \pi$$

Para plasmar el diagrama de radiación en coordenadas polares, primero se trazan líneas verticales desde el punto de la curva de la función característica de la red hasta el semicírculo. Ver Figura 12.3.

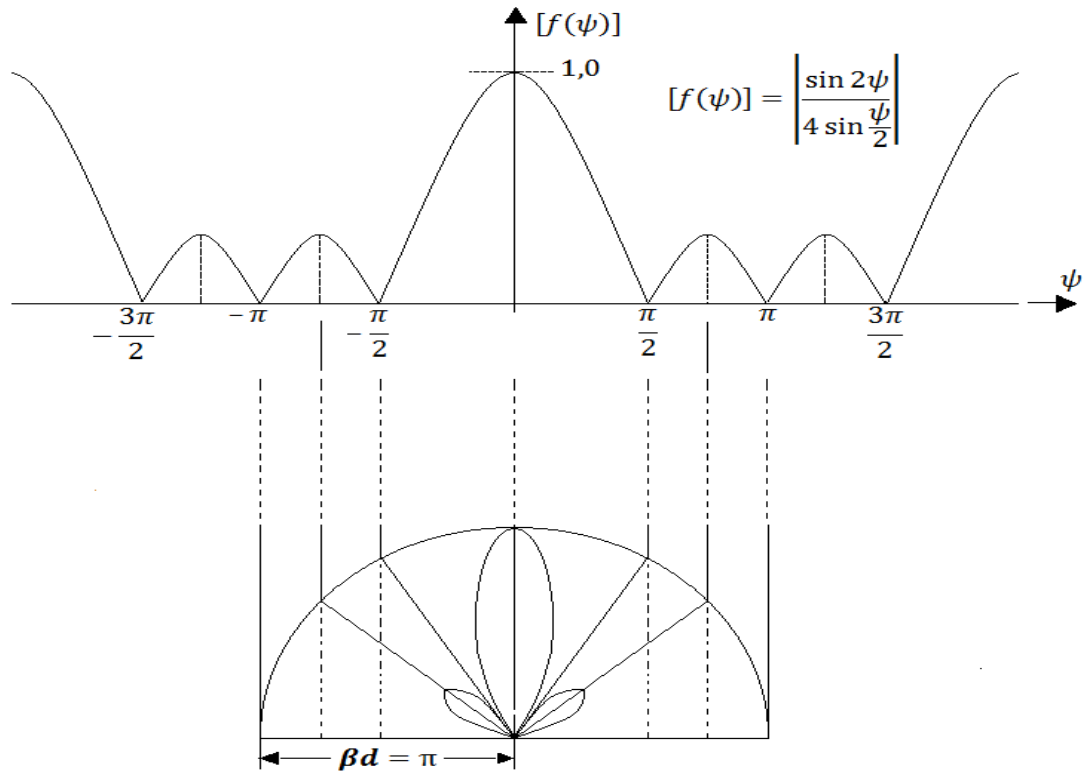


Figura 12.3. Método grafico para obtener un representación en coordenadas polares del diagrama de radiación de la red, para $d = \lambda/2$.

Cuando se interceptan cada una de esas líneas en el perímetro del semicírculo, se dibuja otra línea desde el borde del semicírculo hasta el centro de éste. Luego para dibujar la amplitud del diagrama sobre cada una de las líneas en el semicírculo, se marca un punto, midiendo desde el centro del círculo hacia afuera una distancia igual a la amplitud correspondiente a la función característica de la red.

Pero cuando la diferencia de fase ($\psi = \frac{\pi}{2}$), la amplitud de la *FC* de la red es igual a cero, por lo tanto el punto correspondiente en la representación de coordenadas polares entre el centro del semicírculo y el perímetro de este, cae a cero. Entre $\psi = \frac{\pi}{2}$ y $\psi = \pi$, existe un máximo en la función característica de la red. Y por consiguiente un máximo en la representación en coordenadas polares.

Redes en paralelo y en serie.

Una de las grandes ventajas de las antenas de microbandas es que todos los elementos de la red, como la alimentación, se pueden grabar a un lado del circuito impreso. Esto permite incorporar cientos de componentes de bajo costo. Y si además de que la red puede ser muy delgada, se le suma el hecho de que se le pueden incorporar un gran número de componentes, su rendimiento puede ser muy alto.

Otra de las ventajas de este tipo de antenas es su fiabilidad, dado que toda la red se fabrica utilizando una pieza de cobre continua, se minimizan los problemas debidos a las conexiones defectuosas, pero a su vez, como en las antenas de una placa, su desventaja es que estas redes solo son adaptadas para bandas muy estrechas, es decir solo pueden utilizarse para frecuencias precisas.

Red de microbandas alimentada en paralelo

Este tipo de alimentación asegura que sus elementos resulten excitados con la relación de fase adecuada, en general esos elementos están excitados en fase a fin de producir un haz principal perpendicular al plano de la red. Para evitar la diferencia de fase entre los elementos, estos y la línea de transmisión deben ser simétricos, normalmente se usa una estructura en árbol, llamada **alimentación común**. Esta permite distribuir la potencia en fase de manera uniforme. Sin embargo un número elevado de elementos puede causar problemas por la falta de espacio. (Ver Figura 12.4).

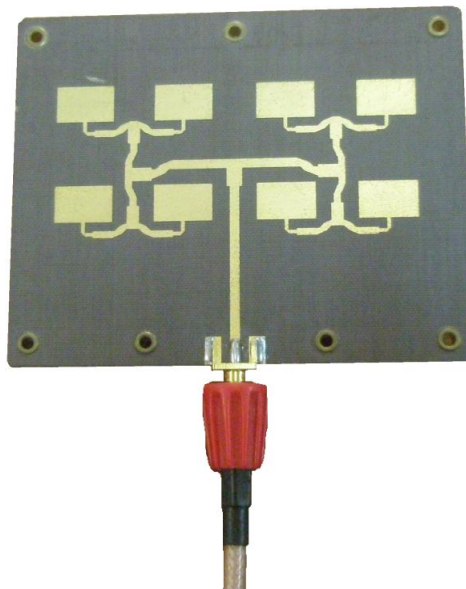


Figura 12.4. Red de placas de microbandas en paralelo.

Una cierta cantidad de adaptadores de impedancia, llamados **transformadores de un cuarto de longitud de onda**, permiten que todos los elementos radiantes resulten correctamente adaptados a la línea de 50Ω que alimenta la antena.

Red de microbandas alimentada en serie

Como se observa en la figura 12.5, también es posible tener los elementos de la red conectados en serie. Aunque es eficaz, el diseño de este tipo de red es más complejo que el de la alimentación en paralelo. Esto se debe a la interdependencia de sus elementos, esto quiere decir, que es necesario imaginar cada placa como equivalente a dos ranuras y también se debe tener en cuenta el efecto de acoplamiento entre las placas en la evaluación de las funciones de la impedancia.

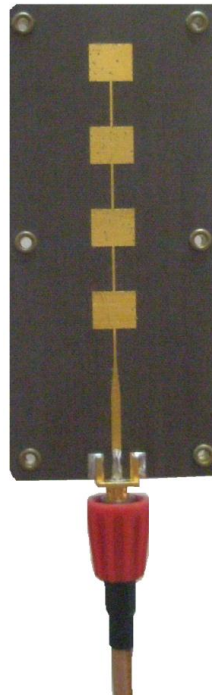


Figura 12.5. Red de placas de microbandas en serie.

Cuando en las redes conectadas en paralelo se duplica el número de elementos, las pérdidas de alimentación limitan el aumento de la ganancia esperada.

Estas pérdidas se deben a los acoplamientos inductivo y capacitivo entre las numerosas líneas de alimentación. Con las placas en serie la conexión entre esas líneas es lineal y eso provoca menos problemas.

En ciertos casos es posible combinar los dos tipos de redes (serie - paralelo) en una sola gran red, para que ofrezca las ventajas de ambas, al acoplar en paralelo un cierto número de redes pequeñas acopladas en serie, es posible lograr grandes redes en las que la complejidad de las alimentaciones y pérdidas de propagación resulten reducidas.

Procedimiento

A. Materiales:

- Generador RF
- Soporte de antena transmisora
- Interfaz para la adquisición de datos
- Orientador de antena
- Mástil con anillo de sujeción
- Mástil con clips verticales
- Soporte de clips
- Vástago (mástil columna corta)
- Antena de bocina de abertura grande
- Adaptador de guía de ondas a cable coaxial
- Red planar de microbanda alimentada en paralelo
- Red planar de microbanda alimentada en serie
- Adaptador de 90°
- Cinta adhesiva de cobre
- Porta guías plástico
- 3 Cables coaxiales tipo SMA
- Computador

B. Montaje del equipo:

Conecté los cables de acuerdo a la Figura 12.6

- Alimentación hacia el orientador de antena
- Entrada de la señal analógica a la salida del orientador de antena
- E/S de control a la E/S de control del orientador de antena
- Cable USB al computador
- Cable de alimentación AC (no encienda el equipo todavía)

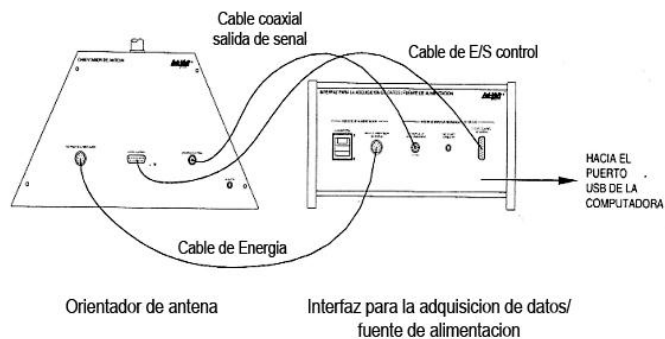


Figura 12.6. Conexión de la interface para la adquisición de datos / orientador de antena.

C. Monté una antena de bocina de abertura grande en el soporte de transmisión mediante el anillo de sujeción, utilice el portaguía de plástico para orientar la antena en el plano E. (ver Figura 12.7). Conecte el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección *oscilador 10GHZ* del Generador RF, luego conecte la antena.



Figura 12.7. Bocina de abertura grande plano E, Tx.

D. Monté un mástil de clips verticales en el soporte deslizante del *orientador de antena*. Instalé red planar de microbandas alimentada en paralelo como se ilustra en la Figura 12.8, introduzca la columna corta en el adaptador de 90°, ajústela con el tornillo, luego acople el soporte de clips a la antena, posteriormente encaje el soporte de clips en el adaptador de 90°, ajústela con el tornillo.

Una vez hecho esto, posicione la antena como lo muestra la Figura 12.8, mediante los pernos que trae el soporte de clips.

E. Luego fije la antena completa al mástil de clips verticales. Conecté el cable tipo SMA mediano a la antena y en la entrada RF ubicada en la parte superior del orientador de antena.

Asegúrese de que la antena quede alineada con el centro de rotación del orientador de antena.

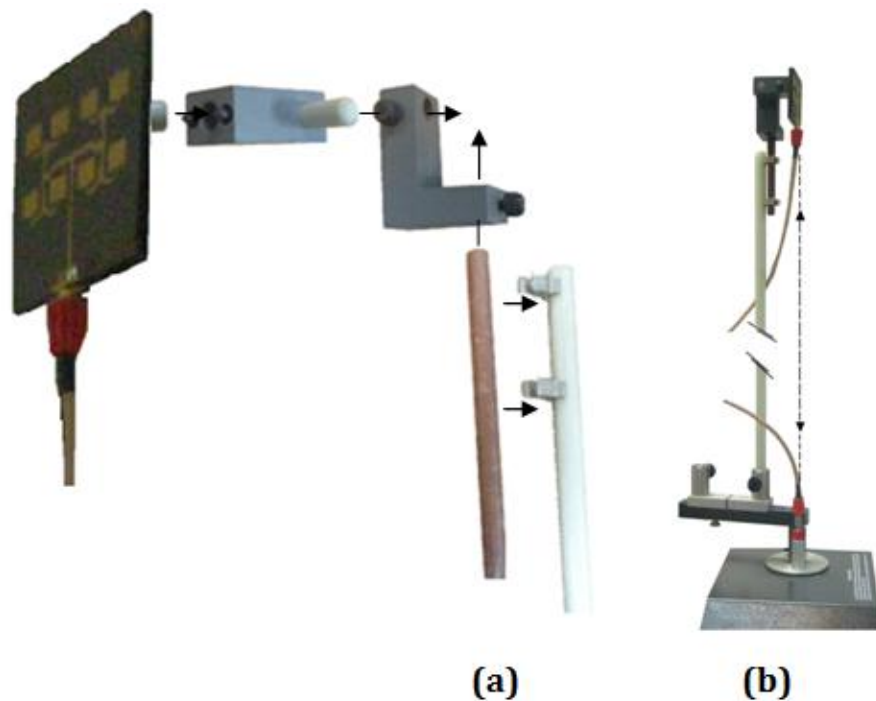


Figura 12.8 Montaje de una red planar de microbandas alimentada en paralelo.

F. Separe las antenas a una distancia de $r=0.8\text{m}$. luego ajústelas para que estén a la misma altura y enfrentadas.

G. En el Generador RF

MODO DEL OSCILADOR	10GHZ	1KHZ
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	10GHZ	NO EMITE
POTENCIA RF DEL OSCILADOR	1GHZ	NO EMITE
-Encienda el computador e inicie el software LVDAM-ANT.		
-Encienda el generador de RF y la fuente de alimentación.		

H. Coloque el interruptor POTENCIA RF en la parte OSCILADOR 10 GHz del generador de RF en la posición EMITE.

I. Ajuste el nivel de la señal. Utilizando el control de atenuación



Precaución: por seguridad nunca se debe mirar directamente hacia el interior de una antena de bocina mientras se esté radiando potencia (emitiendo).

J. Inicie la primera adquisición, después de completarla coloque el interruptor POTENCIA RF del generador RF en la posición NO EMITE. Almacene el diagrama de radiación en un nuevo documento (Document1); si es necesario agregue comentarios utilizando el cuadro de resumen de información para identificar el diagrama.

K. Giré la antena de bocina de abertura grande para una adquisición orientada según el plano H, no modifique la antena Rx.

L. Optimice el nivel de atenuación de la señal y luego lleve a cabo otra adquisición, almacene este diagrama también en el Documento1.

M. Compare los diagramas del Documento1, observe y según su criterio determine como esta polarizada la red planar alimentada en paralelo de la Figura 12.8, ¿Esperaba estos resultados? Explique.

N. Separe las antenas una distancia $r=1.6\text{m}$, asegúrese de que se mantengan enfrentadas.

Ajuste el nivel de atenuación de la señal (trate de mantener la misma atenuación durante el desarrollo de toda la práctica).

O. Lleve a cabo una nueva adquisición y almacene este diagrama de radiación como plano H en un nuevo Documento2.

P. Ahora oriente la antena de bocina de abertura grande para una adquisición orientada según el plano E.

Q. Oriente la antena de red en paralelo también para una orientación en el plano E. (ver Figura 12.9).

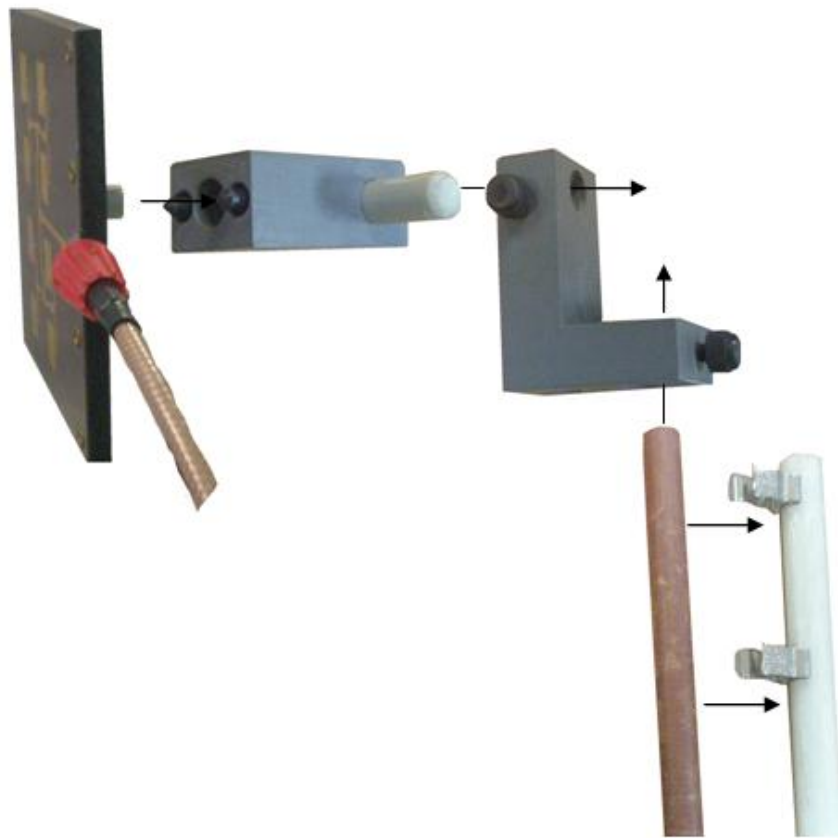


Figura 12.9 Montaje de una antena de microbanda alimentada en paralelo, orientada según el plano E

No modifique la distancia entre las antenas e inicie una nueva adquisición, almacene este diagrama de radiación en el Documento2 como plano E.

R. Retire la red alimentada en paralelo e instale la res alimentada en serie, orientada según el plano H, observe la Figura 12.9 para su correcto montaje.

Orientar la antena Tx para una adquisición en el plano H, asegúrese de que las antenas estén enfrentadas y a la misma altura, realice una nueva adquisición y almacénale en un nuevo Documento3.

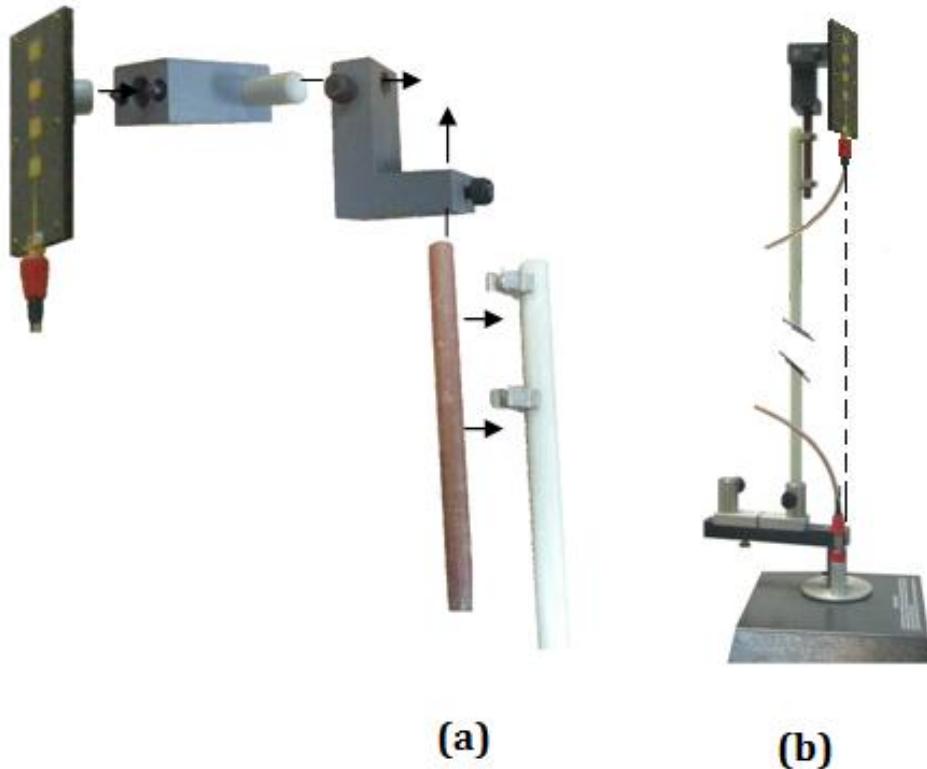


Figura 12.10 (a) Ensamble, (b) Montaje de una antena microbanda alimentada en serie según el plano H.

S. Compare los diagramas obtenidos en los Documentos 2 y 3. ¿Cuál plano es el más directivo para cada una de esas antenas?

T. Use la cinta adhesiva metálica para aumentar la altura de la antena aproximadamente 5mm (observe la Figura 12.11), asegúrese de que el ancho del trozo de cinta metálica sea igual al de la placa.

No modifique la orientación de la antena y realice una adquisición en el plano E, almacene este diagrama en un nuevo Documento4.

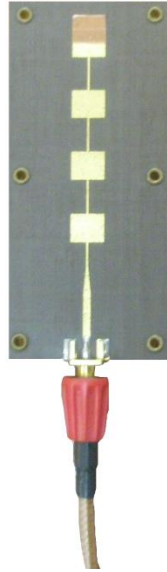


Figura 12.11 Aumento de la altura de la última placa de la red alimentada en serie.

U. Retiré la antena de red alimentada en serie y reemplácela por la red alimentada en paralelo, utilice la cinta adhesiva para aumentar en aproximadamente 5mm la altura de las dos placas del centro en la parte superior (ver Figura 12.12). Posicione esta antena para una adquisición en el plano H (ver Figura 12.8).

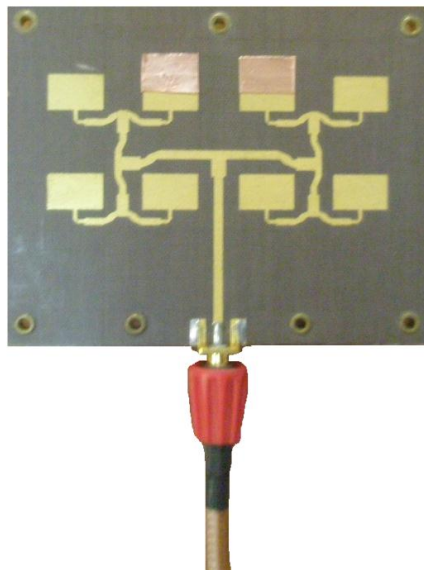


Figura 12.12. Aumento de la altura de dos placas

V. Oriente también la bocina de abertura grande según el plano H
Inicie una nueva adquisición y almacénela en el Documento4 como plano E.

W. Compare el diagrama del plano E, de la antena de placa alimentada en serie, del Documento 4 y 3. Así mismo, compare el diagrama de radiación del plano H, de la antena de placa alimentada en paralelo, del Documento4 y 2.

Las modificaciones con la cinta adhesiva metálica son comparables en ambos casos, cada red sufrió una modificación de un cuarto de la placa.

Entonces la pérdida de ganancia debido a esas modificaciones ¿Es similar en ambos casos? Explique.

AHPM y ganancia de la red planar

X. Utilicé como en casos anteriores una antena de referencia para comparación.

Realice los cambios necesarios para obtener un diagrama de radiación de la antena de una placa (antena de referencia). Adquiera un diagrama en el plano H. almacene este diagrama en un nuevo Documento5.

Y. Calcule el AHPM de la antena de una placa plano H, y del diagrama plano H de una red alimentada en paralelo.

$$AHPM_{H-una\ placa} = \text{_____}^{\circ}$$

$$AHPM_{H-Red\ paralelo} = \text{_____}^{\circ}$$

Z. Al comparar la anchura del haz de potencia mitad de una placa con la de la red en paralelo, observe el aumento en la directividad que se produce en el diseño de la red de ocho elementos.

AA. Utilizando la ganancia de referencia (antena de una placa), calcule la ganancia de las redes alimentadas en paralelo para el plano H y la red alimentada en serie para el plano E.

$$G_{Red\ paralelo} = P_{Red\ paralelo} + G_{Ref(1\ placa)} - P_{Ref(1\ placa)} = \text{---} dB$$

$$G_{Red\ serie} = P_{Red\ serie} + G_{Ref(1\ placa)} - P_{Ref(1\ placa)} = \text{---} dB$$

Compare y observe el aumento de la ganancia, debido al incremento del número de elementos en la red.

¿Estos resultados concuerdan con la teoría?

Preguntas:

✓ Cuando las redes alimentadas en paralelo, se le duplica el número de elementos. ¿A que se deben las pérdidas de alimentación que limitan el aumento de la ganancia?

✓ En las redes alimentadas en paralelo ¿Qué permite que todos los elementos radiantes en la placa resulten correctamente adaptados a la línea de 50Ω ?

✓ Explique la polarización de las redes planeares, utilizadas en este ejercicio.

✓ ¿Cuáles son las principales ventajas de fabricar redes de antenas empleando la tecnología de las microbandas?

✓ ¿Qué es una alimentación común y por qué se la utiliza en el diseño de la red planar alimentada en paralelo?

CONCLUSIONES

- 1 Se logró desarrollar las practicas del laboratorio del sistema didáctico y de medición en antenas (SDMA) Lab-Volt, para la facultad Ingeniería Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana seccional Bucaramanga.
- 2 Se analizo como la polarización de una antena influye directamente en su diagrama de radiación indiferente si esta polarizado de manera lineal, circular o elíptica.
- 3 Se presento de manera clara y didáctica el correcto manejo del equipo de SDMA y el funcionamiento cada uno de los tipos de antenas proporcionados por Lab-volt.
- 4 Con el desarrollo de las prácticas se busco familiarizar a los estudiantes con cada uno de los módulos del sistema Lab-Volt de antenas, dándoles una herramienta para desarrollar investigaciones o proyectos relacionados con el campo de las comunicaciones.
- 5 Se proporciono información teórica fundamental, para ofrecerle a los estudiantes de la asignatura antenas y propagación un soporte técnico grafico, de fácil comprensión y aplicación en el desarrollo del laboratorio.

BIBLIOGRAFIA

- ✓ BALANIS, Constantine A. Antenna Theory, Analysis and Design, 3th Ed. New Jersey, Wiley-Interscience, 2005.
- ✓ BELOTSEKOVSKI, Fundamentos de antenas, Barcelona, Marcombo, 1983.
- ✓ CARDAMA Aznar, Ángel; JOFRE Roca Lluís; RIUS Casals, Juan Manuel; ROMEU Robert Jordi; BLANCH Boris Sebastián; FERRANDO Bataller Miguel; Antenas, 2a ed. México, Alfaomega, 2004.
- ✓ PERSONAL DE LAB-VOLT LTDA, Antenas, Fundamentos de antenas, primera edición, Canadá, 1998.
ISBN 978-2-89289-393-9
- ✓ PERSONAL DE LAB-VOLT LTDA, Telecomunicaciones antenas, software de adquisición y gestión de datos LVDAM-ANT, segunda edición, Canadá, 2006.
ISBN 978-2-89289-910-8
- ✓ LAB-VOLT, Sistema didáctico y de medición en antenas, Modelo 8092,
<http://www.labvolt.com/downloads/datasheet/dse8092.pdf>
- ✓ KRAUS D JOHN, Electromagnetismo con aplicaciones quinta edición: McGRAW-HILL 1999, ISBN 970-10-2466-4

6. ANEXOS

6.1. ANEXO 1

(CÁLCULO DE LA GANANCIA DE UNA ANTENA DE BOCINA DE ABERTURA PEQUEÑA)

Procedimiento

(a) Para poder hallar la ganancia de una antena de bocina de abertura pequeña, primero debemos conocer el valor de la ganancia de bocina de abertura grande, debido a que la ganancia de la bocina pequeña depende de también de un valor de referencia, que para el caso es el de la bocina de abertura grande.

(b) Si usted a un guarda de una práctica anterior el valor de la ganancia de una bocina de abertura grande, omita los siguientes pasos y continúe en la (Etapa **(d)**).

(c) Como ya se estudio en la pasada práctica de antenas de bocina piramidal de abertura grande, la ganancia verdadera de una antena se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$G = \frac{4\pi r}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{Rec}}{P_o}} \quad (1)$$

Donde G Es la ganancia

r Es la distancia entre las antenas

P_{Rec} y P_o Son las potencias recibida y transmitida, respectivamente

λ Es la longitud de onda en el espacio libre (en unidades iguales a r).

Si usted en la práctica de bocinas piramidales recuerda haber obtenido este valor, omita los siguientes pasos y continúe en la etapa IV, si no, siga cuidadosamente las siguientes instrucciones.

Los siguientes pasos permitirán determinar las potencias recibida P_{Rec} y transmitida P_0 de la ecuación (1):

- 1) Retire las antenas de sus mástiles y desconéctelas de los cables tipo SMA.
- 2) Seleccione del set de antenas dos adaptadores de guía de onda para antenas de bocina.
- 3) Conecte los adaptadores entre sí, observar la Figura Anexo1.1.
- 4) Conecte un cable tipo SMA mediano en la entrada RF, ubicada en la parte superior del *orientador de antena* y luego a uno de los extremos de un adaptador.
- 5) Conecte el cable tipo SMA más largo en la salida de la sección OSCILADOR 10GHz de generador RF, y luego a uno de los extremos del otro adaptador.
- 6) En el GENERADOR RF, coloque el interruptor de POTENCIA RF en la posición EMITE.
- 7) Optimice la atenuación, utilizando el control de atenuación.
- 8) Anote la potencia de la señal recibida.

$$P_0 = \text{---}(dB)$$

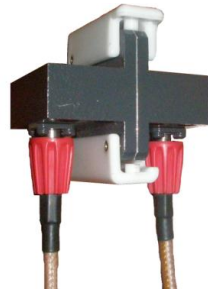


Figura Anexo1.1 Acoplamiento de los adaptadores de guía de onda a los cables coaxiales tipo SMA.

- 9) Coloque el interruptor de POTENCIA RF en la posición NO EMITE y desconecte ambos adaptadores.

10) Ahora realice un montaje para dos antenas de bocina piramidal de abertura grande, tanto en el transmisor como en el receptor. Y sepárelas $r=1.5\text{m}$. Observe la siguiente figura.

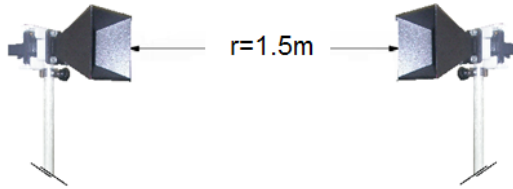


Figura Anexo1.2 Antenas de bocina piramidal enfrentadas.

Utilice el soporte deslizante como se observa en la figura Anexo1.3. Para asegurarse de que la abertura de la antena este alineada con el centro de rotación del ORIENTADOR DE LA ANTENA.



Figura Anexo1.3 Montaje de la antena receptora

11) Coloque el interruptor de POTENCIA RF en la posición EMITE, no modifique el nivel de atenuación.

12) Anote la potencia de la señal recibida.

$$P_{Rec} = \text{---}(dB)$$

13) Debido a que los resultados tomados de estas potencias se encuentran en decibeles la ecuación (1), deberá modificarse un poco para poder trabajar con

estas unidades, utilizando esta nueva fórmula encuentre la ganancia de una antena de bocina de abertura grande

$$G = 10 \log_{10} 4\pi r - 10 \log_{10} \lambda + (P_{Rec} - P_0)(dB)$$

$$G = \text{---}(dB)$$

14) Teniendo el valor de la ganancia de una antena de bocina de abertura grande, ahora si, tomamos este valor como la ganancia de referencia para poder hallar el valor de la ganancia de una antena de bocina de abertura pequeña que es nuestro objetivo.

(d) Teniendo como referencia la ganancia de la bocina grande ($G_{ref(dB)}$) y siguiendo la ecuación (2) podremos encontrar la ganancia de una bocina de abertura pequeña y posteriormente calcular también la ganancia de la antena de ranuras.

Utilizaremos el siguiente método de sustitución para hallar la ganancia de la bocina de abertura pequeña (G_{prueba}):

$$G_{prueba} = P_{prueba(dB)} - P_{ref(dB)} + G_{ref(dB)} \quad (2)$$

(e) Teniendo el valor de ($G_{ref(dB)}$), pero también necesitamos la potencia de referencia ($P_{ref(dB)}$), de esa misma antena. Para lo que realizaremos el siguiente montaje. (ver Figura Anexo1.4)

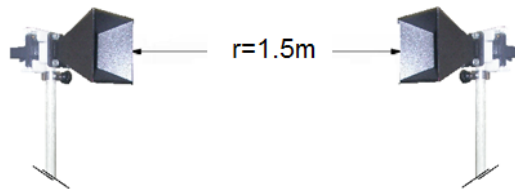


Figura Anexo1.4 Montaje de dos antenas de bocina de abertura grande.

(f) Utilice el control de atenuación para optimizar la recepción de la señal y anote la potencia recibida.

$$P_{Ref} = \text{---}(dB)$$

Retire la antena de bocina de abertura grande Rx y reemplácela por una bocina de abertura pequeña, no modifique el nivel de atenuación. Anote la potencia recibida:

$$P_{prueba} = \text{_____}(dB)$$

(g) Calcule la ganancia de la antena de bocina de abertura pequeña (G_{prueba}).

$$G_{prueba} = P_{prueba (dB)} - P_{ref (dB)} + G_{ref (dB)}$$

$$G_{prueba} = \text{_____}$$

$$G_{prueba}(dB) = \text{_____}(dB)$$

Esta $G_{prueba}(dB)$ y $P_{prueba (dB)}$ ahora se transforman para nosotros en la Ganancia de referencia(G_{Ref}) y la potencia de referencia($P_{ref (dB)}$), que necesitábamos para calcular la ganancia de la antena de ranuras.

6.2. ANEXO 2 (ESPECIFICACIONES DEL EQUIPO)²

‘SISTEMA DIDACTICO Y DE MEDICION EN ANTENAS LAB-VOLT MODELO 8092’

COMPUTADORES PERSONAL REQUERIDO

Para utilizar el software LVDAM-ANT, se necesita una computadora personal tipo Pentium que ejecute el sistema operativo Windows® XP ó Windows® Vista de Microsoft®.

ESPECIFICACIONES (SDMA) Lab-Volt. Modelo 8092

Modelo 9505 – Generador RF		120 V – 50/60 Hz	220 V – 50 Hz	240 V – 50 Hz
Alimentación		1 A	0,5 A	0,5 A
Salidas cc (distribuidor de tensión cc no regulada)		+25 V típ. – 1 A máx.; –25 V típ. – 1 A máx.; +11 V típ. – 1 A máx.		
Salida de potencia RF a 1 GHz	Impedancia	50 Ω		
	Nivel de potencia	+3 dBm (valor típico); 0 dBm (mínimo)		
Salida de potencia RF a 10 GHz	Impedancia	50 Ω		
	Nivel de potencia	+10 dBm (valor típico)		
Entrada de tensión de sintonía a 1 GHz	Gama de tensión	0 a 10 V		
	Gama de frecuencia	700 a 1200 MHz		
Protección	Entrada de línea ca	Disyuntor		
	Distribuidor de tensión cc no regulada	Disyuntor		
Características físicas	Dimensiones (Al x An x P)	112 x 330 x 300 mm (4,4 x 13,0 x 11,8 pulg)		
	Peso neto	6,1 kg (13,4 lb)		
Modelos 9506 y 9506-A – Orientador de antena				
Alimentación		+25 V – 90 mA, –25 V – 90 mA, +11 V – 90 mA		
Entrada de alimentación del motor de arrastre		24 V – 1,25 A – ca		
Detector RF	Gama de frecuencia	1 a 15 GHz		
	Impedancia de entrada	50 Ω		
	Potencia máxima de entrada	100 mW, onda continua		
Entrada del amplificador de señales	Impedancia	10 k Ω		
	Frecuencia central	1 kHz		
Señal de salida	Gama de tensión	0 a +10 V		
	Impedancia	600 Ω		
Características físicas	Dimensiones (Al x An x P)	260 x 385 x 250 mm (10,2 x 15,2 x 9,8 pulg)		
	Peso neto	10,2 kg (22,4 lb)		
Modelo 9507 – Interfaz para la adquisición de datos / Fuente de alimentación				
Alimentación		1,5 A	0,8 A	
Interfaz adquisición de datos	Tensión de ent. de la señal analóg.	0 a +2,5 V		
	Impedancia de ent. de la señal analóg.	1 MΩ		
Fuente de alimentación	Sal. distribuidor de tensión cc no regulada	+25 V típ. – 1 A máx.; –25 V típ. – 1 A máx.; +11 V típ. – 1 A máx.		
	Salida de alimentación del motor de arrastre	24 V – 1,5 A – AC		
Características físicas	Dimensiones (Al x An x P)	167 x 330 x 300 mm (6,6 x 13,0 x 11,8 pulg)		
	Peso neto	8,5 kg (18,8 lb)		

² **Fuente:** Sistema didáctico y de medición en antenas Modelo 8092,
<http://www.labvolt.com/downloads/datasheet/dse8092.pdf> , p.12-13.

Antenas para 1 GHz		
Ganancia (valor típico)	Dipolo ($\lambda/2$)	1,9 dB
	Dipolo plegado con balún	2,1 dB
	Monopolo (a nivel del suelo)	2,5 dB
	Monopolo de brazos inclinados	1,6 dB
	De cuadros circular	2,9 dB
	De cuadros cuadrada	2,9 dB
	De cuadros losange	2,9 dB
Antenas para 10 GHz		
Ganancia (valor típico)	De bocina (abertura pequeña)	13,8 dB
	De bocina (abertura grande)	16,7 dB
	Helicoidal (PCD)	13,6 dB
	Helicoidal (PCI)	13,6 dB
	De placas (rectangular)	7,7 dB
	De placas (red alimentada en serie)	13,0 dB
	De placas (red alimentada en paralelo)	14,0 dB
	Guía de ondas ranurada	13,2 dB