

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE CONTROL DE POSICIÓN EN AZIMUT Y ELEVACIÓN PARA LA OBTENCIÓN DE CARACTERÍSTICAS DE RADIACIÓN DE ANTENAS USANDO LA CÁMARA ANECOICA.

Fausto Gonzalo Carrera Flores

Christian Enrique Cuvi Constante

Departamento de Eléctrica y Electrónica, Escuela Politécnica del Ejército

Av. El Progreso S/N, Sangolquí – Ecuador

***Resumen:** El presente artículo describe el diseño, construcción y la implementación de minitorres de sustentación, para el soporte de antenas de prueba (construidas artesanalmente), y de las respectivas interfaces HMI; tanto en LabView como en MatLab, que permiten el control de giro en dos grados de libertad, azimut y elevación; y la adquisición de datos de potencia, provenientes del analizador de espectros (Anritsu S362E), para la obtención del patrón de radiación, y características de radiación, de las antenas de prueba; utilizando la cámara anecoica, que se encuentra ubicada en el laboratorio de RF del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE.*

Introducción

Las carreras de ingeniería, en eléctrica y electrónica, contienen asignaturas básicas referentes a sistemas de comunicaciones que involucran medios

radiantes, los mismos que estudian los diferentes tipos de antenas con sus distintas tecnologías y características de radiación.

El campo de la ingeniería exige que los estudiantes utilicen diferentes técnicas de aprendizaje y para ello es muy importante la fase de la experimentación.

Esta fase constituye la oportunidad para poner a prueba los conocimientos adquiridos en clase o para verificar las hipótesis como parte constitutiva de nuevas investigaciones.

Los laboratorios de electrónica de la ESPE disponen actualmente de una cámara anecoica con soportes internos para la sustentación de las antenas. Estos soportes no disponen de grados de libertad suficientes como para realizar giros de las antenas en dos dimensiones, limitando muchísimo las prácticas a realizarse en dicha cámara.

La utilización de la cámara anecoica, es muy importante dentro de los laboratorios de electrónica de la ESPE, ya que en ella se puede aislar las interferencias externas y simular condiciones de espacio libre en el interior de la misma, permitiendo la comprobación de los resultados obtenidos a través de software de simulación, en lo que se refiere a sistemas de comunicación que involucran antenas y equipos de RF.

El resultado esperado por efecto de una eficiente utilización de la cámara anecoica es el patrón de radiación de antenas, que trabajan en las bandas de microonda o UHF. Se puede entender entonces que dependiendo de la versatilidad de los controles de posición en azimut y elevación de los soportes internos de las antenas, así será más fácil obtener patrones de radiación de antenas con un grado de satisfacción suficiente.

Patrón de Radiación

Es la representación gráfica de las características de radiación de una antena en función de su dirección angular (coordenadas en azimut y elevación), que permite visualizar las intensidades de los campos o las densidades de potencia en varias posiciones angulares en relación con una antena.

Sistema de Control en Lazo Cerrado

Este es un proceso en el cual la acción de control está en función de la señal de salida. Se alimenta al controlador la señal de error, que es la diferencia entre la señal de entrada y la salida de realimentación, a

fin de reducir el error y llevar la salida del sistema a un valor conveniente, como se indica en la Figura 1.

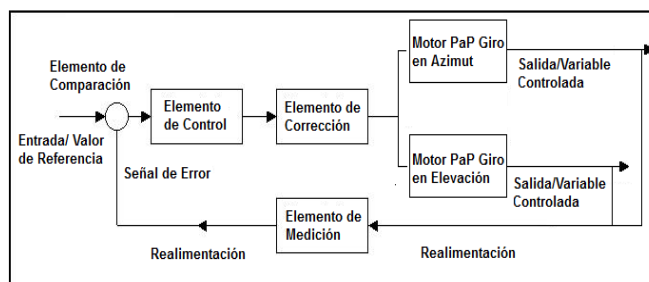


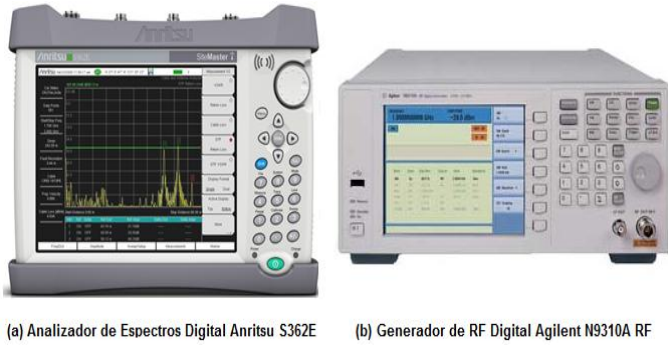
Figura 1: Diagrama de Bloques de un Sistema en Lazo Cerrado para Controladores de Giro de Motores Paso a Paso en Dos Grados de Libertad.

Equipos y Materiales

Para establecer el sistema de transmisión, con el cual se van a realizar las pruebas, para obtener el patrón de radiación de las diferentes antenas; es importante señalar dos equipos:

Analizador de Espectros (Anritsu S362E): Es un dispositivo electrónico que permite visualizar y representar los componentes espectrales de una determinada señal, dentro de un espectro de frecuencias. Dicha señal de entrada puede ser cualquier tipo de onda eléctrica, acústica u óptica.

Generador de Señales RF (Agilent N93190A): Es un instrumento que permite producir señales semejantes a las de la radio, para verificar el equipo de transmisión y recepción de la comunicación a través de este mismo medio, ya sea en la banda comercial de AM como en la de FM.



(a) Analizador de Espectros Digital Anritsu S362E (b) Generador de RF Digital Agilent N9310A RF

Figura 2: Equipos Sistema de Transmisión.

De igual manera, vale la pena recalcar, dentro de los materiales utilizados dentro del presente proyecto, a los motores paso a paso, ya que es mediante el control de estos, que es posible obtener el movimiento en dos grados de libertad, de las antenas de prueba. Un *motor paso a paso* es un servo mecanismo giratorio, capaz de transformar energía eléctrica en energía mecánica.

Finalmente señalar que, además de estos equipos y materiales, es necesario contar con cables y conectores especiales para radiofrecuencia y de PC's que permitan la interacción con las diferentes interfaces HMI.

Esquema General del Sistema de Medida de Patrones de Radiación de Antenas.

El diagrama de bloques, presentado en la Figura 3, muestra en resumen, el esquema general del sistema de medida de patrones de radiación de antenas, descrito así:

La interfaz HMI realizada en LabView, la cual permite al usuario controlar, desde la PC, el giro de la antena transmisora en dos grados de libertad. Siendo estos grados de libertad azimut y elevación.

El generador de señales Agilent N9310A RF, el cual permite generar la

frecuencia y amplitud deseada dentro del sistema de transmisión. En este caso en particular, se utiliza la frecuencia para la cual fue diseñada la antena, 911 [MHz], y una amplitud de 0 [dBm].

El analizador de espectros Anritsu S362E, con el cual se van a obtener los parámetros de la antena, además de los datos de potencia necesarios para la obtención del patrón de radiación.

La interfaz HMI realizada en MatLab, la cual permite al usuario, desde la PC, la adquisición de los datos de potencia; obtenidos a través del analizador de espectros Anritsu S362E, y la posterior gráfica del patrón de radiación de la antena de prueba.

Se debe tener siempre presente, la atenuación de los cables, tanto en la antena transmisora como en la antena receptora. Esta atenuación depende de la velocidad de propagación y de la longitud misma de los cables.

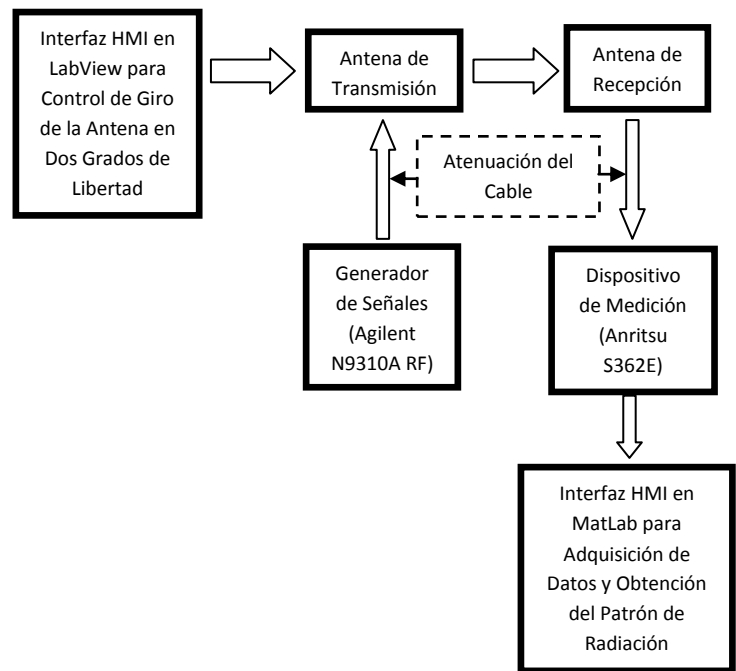


Figura 3: Esquema General del Sistema de Medida de Patrones de Radiación.

A continuación se presenta el sistema de medida de patrones de radiación de antenas, completamente armado, para la toma de mediciones al aire libre:



Figura 4: Sistema de Medida de Patrones de Radiación –Completamente Armado.

Antenas de Prueba

Se planea utilizar antenas tipo Yagi, la primera antena Yagi a utilizarse, de construcción artesanal, las cuales poseen, entre sus características principales de diseño, una Ganancia de 8.5 [dBi], una Relación Frente/Espalda de 30,08 [dB] y trabajan a una frecuencia de 911 [MHz].

La segunda antena Yagi a utilizarse, posee entre sus características principales de diseño, un elemento Reflector, un elemento Activo (dipolo doblado), siete elementos Directores, una Ganancia de 12.56 [dBi], una Relación Frente/Espalda de 30,03 [dB] y trabajan a una frecuencia de 2.4 [GHz].

Finalmente, también se planea utilizar antenas omnidireccionales de fabrica, que poseen entre sus características principales una Ganancia de 12 [dBi], y trabajan a una frecuencia de 2.4 - 2.5 [GHz].

Interfaz HMI - LabView

El lenguaje de programación que se utilizó para el control y monitoreo del posicionamiento, tanto en azimut como en elevación, para el prototipo SCAE

(Sistema de Control en Azimut y Elevación), es LABVIEW.

Esta interfaz permitirá al usuario establecer los grados en los cuales se desea que el prototipo SCAE realice los movimientos, tanto en azimut como en elevación. Además de permitir sensor si el prototipo efectivamente se encuentra girando o no.

La interfaz HMI se presenta como la siguiente ventana gráfica al usuario:

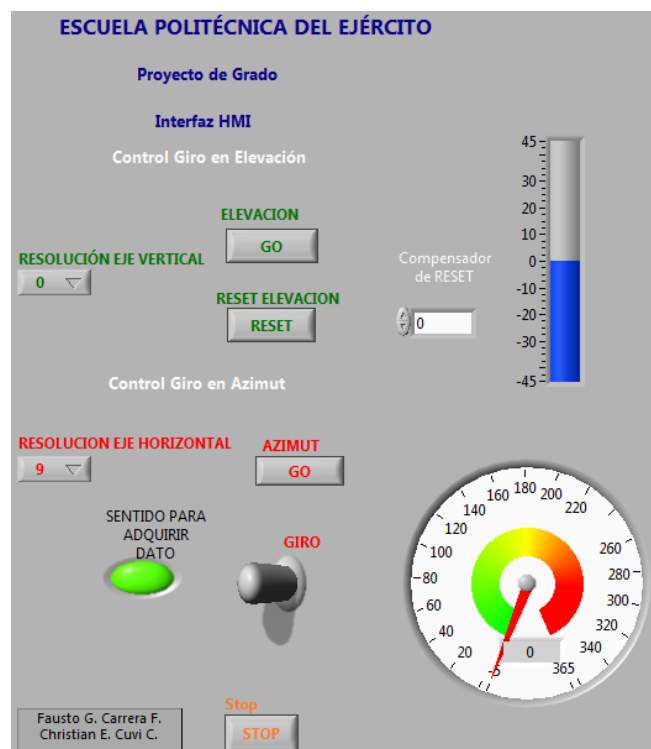


Figura 5: Interfaz HMI Desarrollada en LABVIEW.

Interfaz HMI - MatLab

La obtención del patrón de radiación de las antenas mediante software de simulación, se realiza mediante una interfaz HMI realizada con MATLAB.

Esta interfaz permitirá al usuario establecer los valores de frecuencia, en el analizador de espectros, tanto iniciales como finales, adquirir el dato de potencia, que presenta el analizador de espectros,

archivar dicho dato y finalmente procesar esta información, para finalmente poder graficar el patrón de radiación.

La interfaz HMI se presenta como la siguiente ventana gráfica al usuario:



Figura 6: Interfaz HMI Desarrollada en MATLAB.

Minitorres de Sustentacion

La minitorre de sustentación es el lugar donde se ubican las antenas de prueba, además de ser el aparato que permite el giro en dos grados de libertad, de dichas antenas de prueba.

El prototipo SCAE (Sistema de Control en Azimut y Elevación) está formado por 3 etapas: Base de Sustentación, Estructura de Elongación y Base de Sustentacion de Motor en Elevación.

A continuación se presenta el diseño de las minitorres de sustentación del prototipo SCAE:

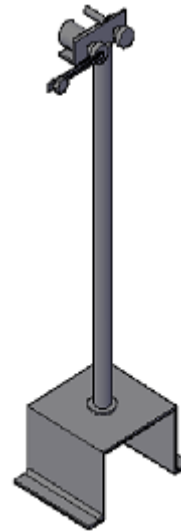


Figura 7: Minitorres de Sustentación – Prototipo SCAE

Medición de Posicionamiento en Dos Grados de Libertad

La minitorre de azimut es la que permite el giro de la antena de prueba, dentro del rango de 0° - 360° , en intervalos de 9° , 18° , 45° y 90° .

Esta minitorre es la encargada del barrido y movimiento en el eje horizontal de la antena de prueba. Permitiendo así obtener todos los puntos y valores necesarios para la obtención del patrón de radiación.

La minitorre de elevación es la que permite el barrido y movimiento en el eje vertical, de la antena de prueba, en las posiciones anteriormente mencionadas. Permitiendo así, que junto con la minitorre de azimut, sea posible la adquisición de todos los valores de potencia necesarios para la obtención del patrón de radiación, en los diferentes ángulos de elevación.

Exactitud del Sistema de Posicionamiento

Se muestran los resultados de la exactitud del sistema posicionamiento en

elevación, trabajando en los intervalos anteriormente mencionados, cuando se estuvo haciendo las prácticas con la antena de prueba; tanto en elevaciones positivas como en elevaciones negativas.

No. Prueba	Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error
1	20	0	31	3.3333	45	0
2	19	5	30	0	46	2.2222
3	20	0	31	3.3333	46	2.2222
4	19	5	30	0	46	2.2222
5	20	0	30	0	45	0
6	20	0	30	0	45	0
7	19	5	29	3.3333	45	0
8	19	5	30	0	45	0
9	19	5	30	0	45	0
10	20	0	30	0	45	0

Tabla 1: Exactitud del Sistema de Posicionamiento - Elevaciones Positivas – Con Antena.

No. Prueba	Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error
1	-19	5	-29	3.3333	-44	2.2222
2	-20	0	-28	6.6667	-44	2.2222
3	-21	5	-30	0	-45	0
4	-20	0	-30	0	-45	0
5	-20	0	-30	0	-44	2.2222
6	-20	0	-30	0	-45	0
7	-20	0	-31	3.3333	-45	0
8	-21	5	-30	0	-44	2.2222
9	-19	5	-29	3.3333	-45	0
10	-20	0	-30	0	-45	0

Tabla 2: Exactitud del Sistema de Posicionamiento - Elevaciones Negativas – Con Antena.

Se muestran los resultados de la exactitud del sistema, con un azimut entre 0° - 360°, en intervalos de 9°, cuando se estuvo trabajando con la antena de prueba.

Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error	Grado Medido	% Error
9	11.111	99	1.0101	189	0.5291	279	0.3584
18	11.111	108	0.9259	198	0	288	0.3472
27	3.7037	117	0	207	0.4831	297	0.6734
36	2.7778	126	0.7937	216	0.463	306	0.9804
45	2.2222	135	0.7407	225	0	315	0.6349
54	0	144	1.3889	234	0	324	0.6173
63	0	153	0.6536	243	0.4115	333	0.3003
72	1.3889	162	0.6173	252	0.3968	342	0.2924
81	1.2346	171	0	261	0.3831	351	0.2849
90	1.1111	180	0.5556	270	0.7407	360	0.5556

Tabla 3: Exactitud del Sistema de Posicionamiento en Azimut – Con Antena.

Obtención del Patrón de Radiación

El patrón de radiación se obtiene a través de los datos de potencia de recepción, adquiridos gracias a las pruebas. La potencia de recepción es la potencia de la señal que recibe una antena, después de que dicha señal haya atravesado obstáculos, desvanecimientos, reflexiones y demás atenuaciones a lo largo del sistema de transmisión – recepción.

La siguiente tabla muestra la potencia de recepción del sistema, a 0° de elevación, con un azimut entre 0° - 360°, en intervalos de 9°.

Azimut [°]	Potencia [dBm]
0	-30.75

Azimet [°]	Potencia [dBm]	Azimet [°]	Potencia [dBm]	Azimet [°]	Potencia [dBm]	Azimet [°]	Potencia [dBm]
9	-30.42	99	-34.53	189	-35.05	279	-35.66
18	-30.26	108	-37.14	198	-34.37	288	-34.75
27	-30.64	117	-41.94	207	-34.68	297	-36.68
36	-31.24	126	-45.29	216	-35.36	306	-41.99
45	-31.76	135	-44.92	225	-35.29	315	-44.21
54	-33.19	144	-42.1	234	-36	324	-38.25
63	-36.87	153	-39.76	243	-37.19	333	-36.37
72	-51.61	162	-38.16	252	-38.26	342	-33.23
81	-39.63	171	-37.07	261	-39.16	351	-31.93
90	-34.98	180	-35.94	270	-37.9	360	-31.54

Tabla4: Mediciones Potencia de Recepción – Cámara Anecoica – Elevación 0°.

En base a estos datos de potencia, adquiridos gracias a la interfaz HMI, es posible obtener el siguiente patrón de radiación de la antena de pruebas:

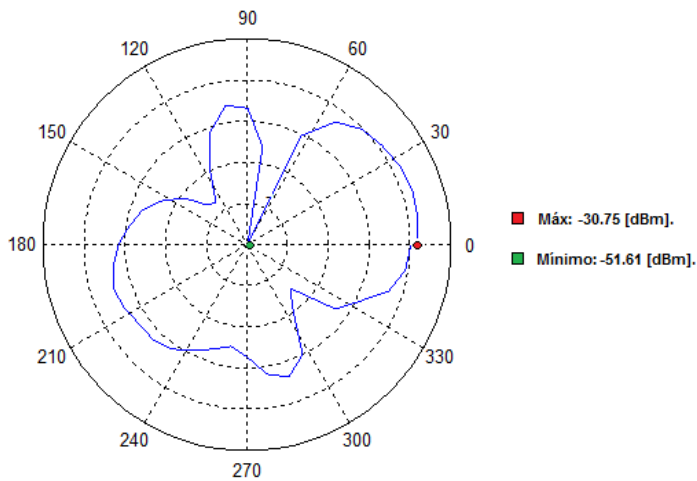


Figura 8: Patrón de Radiación Obtenido a Través de Mediciones de Campo - Cámara Anecoica - Elevación 0°.

El patrón de radiación obtenido a través de mediciones de campo, al momento de ser comparado con el patrón de radiación teórico, obtenido a través de QY4; que se presenta en la Figura 9, tiene las siguientes consideraciones:

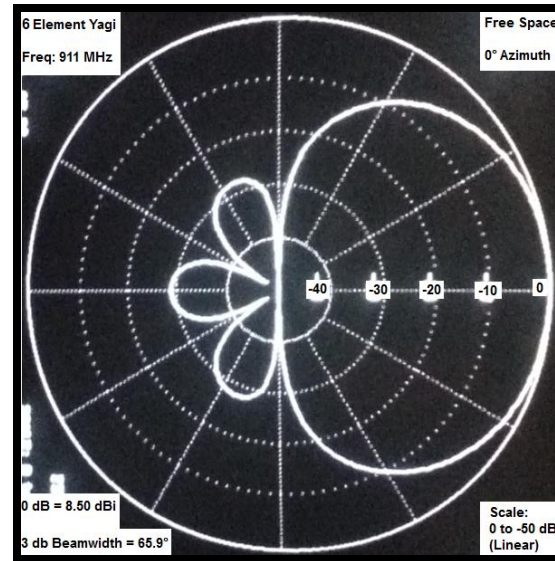


Figura 9: Patrón de Radiación Teórico - QY4 - Elevación 0°.

Es evidente que la antena con la que se trabajó, es una antena directiva.

Una vez que se ha demostrado esto, salta a la vista que la antena de prueba, en base a los patrones de radiación simulados, es directiva en 0°; lo cual concuerda con el patrón de radiación teórico.

Una de las diferencias más notorias, entre los dos patrones de radiación anteriormente mencionados, es la falta de semejanza que existe entre los lóbulos secundarios de dichos patrones. Como se puede observar en la Figura 9, los lóbulos secundarios deberían ser tres y encontrarse en la parte posterior del patrón de radiación; mientras que como se observa en la Figura 8, existen tres lóbulos secundarios, de un tamaño considerable, y no todos precisamente se encuentran en la parte posterior del patrón de radiación.

Hay que tener en cuenta que las pruebas fueron realizadas dentro de una cámara anecoica que se encontraba en desuso y de la cual no se conoce, de

manera concreta, el estado en la que se encuentra, por lo que, la inserción de fallas dentro del sistema de transmisión también es innegable.

No se debe olvidar, que el material metálico con el que fueron construidas las minitorres de sustentación, generan una especie de tierra dentro del sistema de transmisión, lo cual afecta indudablemente la forma en la que se transmite y se reciben las señales.

Finalmente hay que tener presente las pérdidas y atenuaciones inherentes al uso de cable coaxial, para la transmisión y recepción de señales. Esto sin duda alguna, altera la exactitud y precisión del patrón de radiación simulado, en comparación al teórico.

Análisis de los Parámetros de Radiación de las Antenas de Prueba

Los parámetros de radiación de las antenas de prueba, son las características inherentes de cada antena, dadas debido a su diseño, construcción e implementación dentro del presente proyecto. Estos parámetros son los que permiten determinar la calidad de las antenas, y de forma indirecta, la calidad del sistema de transmisión; utilizado para adquirir los datos de potencia, en el momento en que las pruebas fueron realizadas. Los parámetros fueron: Pérdida de Retorno, Relación de Ondas Estacionarias, Pérdida del Cable y Carta de Smith.

De todos estos parámetros, quizá el de más relevancia dentro de la construcción de las antenas; y del proyecto en sí, es la Relación de Ondas Estacionarias.

La razón de onda estacionaria (ROE) o Standing Wave Ratio (SWR) permite determinar si dos o más módulos eléctricos o electrónicos de impedancias

diferentes, que se están interconectando dentro de un sistema, están adaptados adecuadamente o por si el contrario, se encuentran desacoplados.

Puesto que no siempre se puede acoplar una línea de transmisión de manera exacta, es necesario tener una medida que nos indique el grado de desacoplamiento. A esta medida se la conoce como Voltage Standing Wave Ratio (VSWR), que se presenta a continuación:

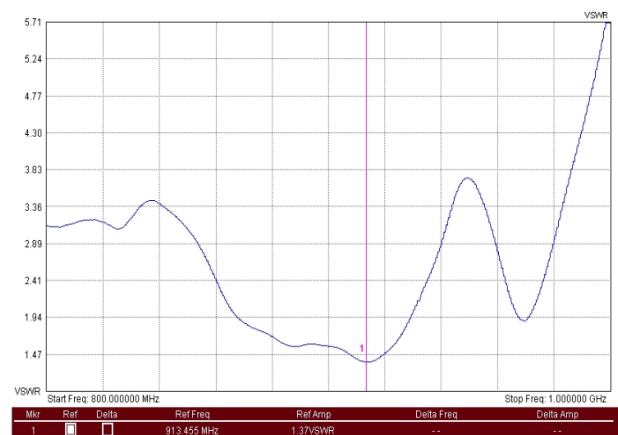


Figura 11: Relación de Onda Estacionaria VSWR.

El marcador de la Figura 11 muestra el mejor valor de VSWR, que tienen las antenas de prueba.

Este valor es: $VSWR = 1.37$ a 913.455 [MHz].

Considerando que el VSWR ideal debe ser igual a uno, y que el VSWR de las antenas de prueba no difiere en mucho de este valor, es apropiado decir que dichas antenas de prueba tienen un adecuado proceso de diseño y construcción.

De igual manera, estos valores indican que las antenas de prueba están resonando a una frecuencia no muy diferente a la estipulada en el diseño y simulación de las mismas; además de no encontrarse desacoplados de manera significativa, por

lo que es justificado su uso dentro del presente proyecto.

Finalmente, se debe tener en cuenta, que el diseño y construcción de las antenas Yagi de prueba, no se encontraban estipulados dentro del proyecto, por lo que haber obtenido tan buenos resultados es una gran satisfacción.

Conclusiones

El nuevo prototipo implementado cumple con los objetivos de esta tesis, diseño y construcción de un sistema de control en azimut y elevación para la obtención de las características de radiación de antenas utilizando la cámara anecoica.

El análisis previo acerca de los patrones de radiación de las antenas y su ganancia de directividad permitieron la familiarización y el entendimiento de su importancia dentro de cualquier sistema de transmisión, por más pequeño que este sea; ya que estos dos factores son importantes en el momento de determinar la sensibilidad y método de decodificación se va a utilizar dentro de dicho sistema de transmisión.

El análisis previo de los sistemas de control de posicionamiento, tanto en azimut como en elevación, para las minitorres de sustentación de las antenas de prueba en el laboratorio de RF, permitió determinar que un sistema de control en lazo cerrado era el más adecuado para controlar las variables involucradas dentro de la realización del presente proyecto.

El análisis previo de las características, tanto de diseño como de construcción, de la cámara anecoica con la que se trabajó a lo largo de todo este proyecto, fue clave

para determinar el tipo de antenas con las que es posible trabajar, además de confirmar que las bandas en las que se pretendía trabajar también eran viables para este proyecto.

La utilización de cable coaxial RG-58 para conectar las antenas de prueba con los equipos de medición de RF, conlleva la realización de un análisis que permita determinar las pérdidas inherentes al uso de dicho cable. Para este análisis es necesario conocer la frecuencia de trabajo de las antenas de prueba.

La elaboración de pruebas de funcionamiento del sistema de control de posición y la obtención de patrones de radiación de antenas de prueba, permitieron determinar la efectividad del giro en dos grados de libertad de las minitorres de sustentación, además de permitir la comparación de dichos patrones de radiación con los patrones de radiación teóricos, obtenidos a través de software de simulación. De esta manera fue posible la realización de los análisis de resultados, a más de dar nueva vida a la cámara anecoica.

Recomendaciones

Realizar un informe del estado actual en el cual se encuentra la cámara anecoica del laboratorio de RF del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE; en base al cual sea posible concluir si vale la pena mantener en pie dicha cámara anecoica, o si es mejor desmantelarla, dando así un mayor espacio físico tanto para los ingenieros como para los estudiantes, permitiendo de esta manera la realización de prácticas de laboratorio en la materia de RF (Radio Frecuencia).

Familiarizar a los alumnos del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE con la cámara anecoica; ya

que la gran mayoría de ellos pasa toda su vida universitaria sin saber que dentro del departamento existe tal aparato y que sí se encuentra funcionando.

Incorporar y realizar prácticas de laboratorio, dentro de materias pertenecientes al área de Telecomunicaciones del Departamento de Eléctrica y Electrónica, como Antenas o RF, que necesiten de la utilización de la cámara anecoica; ya que muchas veces estas materias son muy teóricas y los alumnos no tiene la posibilidad de en verdad ver y hacer realidad, todo lo que están recibiendo dentro del salón de clases; haciendo que estas materias se conviertan en tediosas, aburridas y difíciles de aprender.

Mejorar, en lo posible, tanto el diseño como los materiales, con lo que fueron construidas las minitorres de sustentación; buscando convertirlo en un prototipo mucho más ligero y que inserte muchas menos interferencias, que el prototipo actual.

Cambiar o reemplazar el motor a pasos que permite el giro en azimut, por servomotores o motores paso a paso de mejores características; que permitan tener una mejor resolución (número de muestras de datos de potencia que pueden ser adquiridos) en el momento de obtener el patrón de radiación de las antenas de prueba.

Cambiar o reemplazar el motor a pasos que permite el giro en elevación, por servomotores o motores paso a paso de mejores características; que permitan tener un mayor torque dentro del sistema, permitiendo de esta manera la utilización de antenas de prueba de mayores pesos, sin el temor de entorpecer el giro, en elevación, en la minitorre de sustentación.

Para no producir daños al equipo, por mal uso del mismo, se deben seguir las instrucciones del manual de usuario, presentadas en los anexos del presente proyecto.



Fausto Gonzalo Carrera Flores

nació el 21 de noviembre de 1987, en la ciudad de Quito - Ecuador. Recibió el título de Bachiller Físico – Matemático en el Colegio San Gabriel, en el año 2005. Egresó en la carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – Telecomunicaciones en la Escuela Politécnica del Ejército – ESPE, en el año 2010. Realizó un semestre de estudios en el extranjero, en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores Monterrey – México, en enero de 2010. Seleccionado de Voleibol de la ESPE desde el año 2006 y miembro del Instituto de Ingenieros Eléctricos y Eléctricos –IEEE desde el año 2008.



Christian Enrique Cuvi Constante

nació el 21 de enero de 1977, en la ciudad de Quito - Ecuador. Recibió el título de Bachiller Físico – Matemático en la Unidad Educativa Liceo Naval Quito, en el año 1995. Egresó en la carrera de Ingeniería Eléctrica y Electrónica – Automatización y Control en la Escuela Politécnica del Ejército – ESPE, en el año 2008. Gusta de hacer deporte, siendo su favorito el fútbol y su pasatiempo es la fotografía.